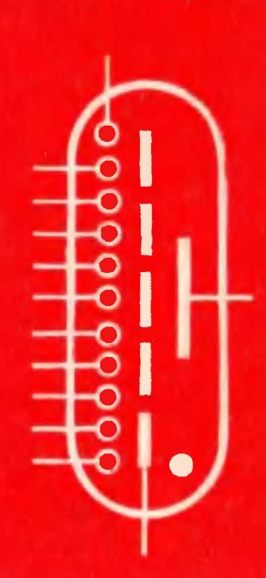


В. М. Липкин

ДЕКАТРОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ



«ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 660

В. М. ЛИПКИН

ДЕКАТРОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Изд. 2-е, переработ. и доп.



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1967

6П2.151
Л 61

УДК 621.385.845

Липкин В. М.

Л 61 Декатроны и их применение. Изд. 2-е, переработ. и доп. М., «Энергия», 1967.

64 с. илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 660)

В брошюре изложены основные сведения о газоразрядных счетных приборах — декатронах. Приведены схемы их упраалення, а также схемы счетчиков, генераторов, коммутирующей и регулирующей аппаратуры, построенной на декатронах.

Брошюра рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

3-4-5
313-67

Липкин Вениамин Михайлович
Декатроны и их применение

Редактор *Т. В. Жукова*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Технический редактор *Л. И. Гаврилина*
Корректор *Е. В. Кузнецова*

Сдано в набор 20/V 1967 г. Подписано к печати 24/VIII 1967 г. Т-07100
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 3,36 Уч.-изд. л. 4,63
Тираж 30 000 экз. Цена 19 коп. Зак. 275

Издательство „Энергия“. Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время получили большое распространение электронные счетные схемы, которые широко используются не только в цифровых вычислительных машинах, но и в разнообразных измерительных и управляющих системах.

Счетные электронные схемы строятся не только на транзисторах или электронных лампах. Развитие этой области привело к созданию приборов, специально предназначенных для счетной техники. К таким приборам относятся декатроны и трохотроны.

Распространение декатронов, несмотря на бурное развитие транзисторной техники, объясняется высокой экономичностью и простотой их схем, а также возможностью визуальной индикации результата без применения дополнительных устройств.

Декатроны представляют собой многоэлектродную газоразрядную лампу, состоящую из дискового анода и симметрично расположенных вокруг него индикаторных катодов (в наиболее широко распространенных конструкциях этих катодов 10). Поступление на декатрон входного импульса вызывает направленное перемещение разряда, горящего между анодом и одним из катодов, на следующий катод.

Индикация числа поступивших импульсов может производиться визуально — через прозрачный купол баллона декатрона по положению разрядного свечения, а также электрически — по напряжению на нагрузке в цепи катодов.

Декадная пересчетная ячейка на декатроне состоит в простейшем случае из одного-двух транзисторов и нескольких резисторов и конденсаторов, не считая самого декатрона.

Такая же ячейка на транзисторах требует использования около 20 транзисторов, около 50 конденсаторов и резисторов, а также специального устройства для визуальной индикации результата.

Достаточно широкий частотный диапазон современных декатронов (несколько сот тысяч герц), разнообразные возможности их использования, а также сравнительно невысокая стоимость — все это способствует распространению декатронов в измерительной, испытательной и регулирующей аппаратуре.

Глава первая

ПРИНЦИП РАБОТЫ ДЕКАТРОНА

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ПРИБОРАХ С ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДЕКАТРОНА

Газорядные приборы с тлеющим разрядом, разновидностью которых является декатрон, получили широкое распространение благодаря следующим особенностям:

а) отсутствию накала катода, что делает эти приборы более надежными и экономичными, чем электронные лампы;

б) дешевизне приборов, связанной с отсутствием в них сложных деталей или деталей, требующих дорогостоящей технологии или дефицитных материалов;

в) большому сроку службы, доходящему до десятков тысяч часов;

г) яркому свечению разрядного промежутка, естественно решающему проблему визуальной индикации рабочего состояния прибора и контроля за работой аппаратуры на этих приборах;

д) устойчивости работы в очень широком температурном диапазоне (от — 60 до $+130 \div 150°$ С), что выгодно отличает газоразрядные приборы от полупроводниковых;

е) незначительным разрядным токам, высокому к. п. д. и большим выходным напряжениям.

Рассмотрим кратко физику работы газоразрядного прибора. Простейший из них представляет трубку, заполненную газом при определенном давлении и имеющую два электрода — анод и катод (рис. 1,*а*).

Если повышать напряжение на электродах такого прибора и следить за током в его цепи, то на вольт-амперной характеристике можно отметить несколько типичных областей (рис. 1,*в*). Каждая из областей характеризуется особенностями движения и появления электронов и ионов в заполняющем трубку газе.

Напомним, что ионизацией газа называют процесс образования в нейтральном газе ионов — заряженных положительно или отрицательно атомов и молекул. Образование ионов происходит в процессе столкновений нейтральных атомов и молекул с другими атомами, молекулами или частицами, а также под действием ультрафиолетового или γ-облучения, облучения фотонами и т. д. В этом случае нейтральные атомы или молекулы получают или теряют электроны и приобретают соответствующий заряд.

Первая область на вольт-амперной характеристике называется областью тихого несамостоятельного разряда. Ток прибора здесь вызывается присутствием ионов, образовавшихся под действием внешних излучений, таких как свет. Вторая область называется областью тихого самостоятельного разряда. Здесь уже начинает играть роль ионизация за счет столкновений электронов и молекул газа внутри трубки.

Третья область — это область нормального тлеющего разряда. В процессе тлеющего разряда значительная часть ионов скапливается у катода и образует пространственный заряд, который создает большую напряженность поля вблизи катода (рис. 1,*б*). Часть ионов под действием этого поля разгоняется в сторону катода и выбивает из него первичные электроны. Последние, обладая вблизи катода большой энергией, ионизируют атомы инертного газа, создавая новые ионы и вторичные электроны. Процесс носит лавинообразный характер. Повышение тока разряда в этом случае не вызывает увеличения плотности тока катода, а лишь приводит к увеличению площади катода, охваченной разрядом. Преимущественная ионизация атомов при тлеющем разряде вблизи катода приводит к появлению характерной для тлеющего разряда картины катодного свечения.

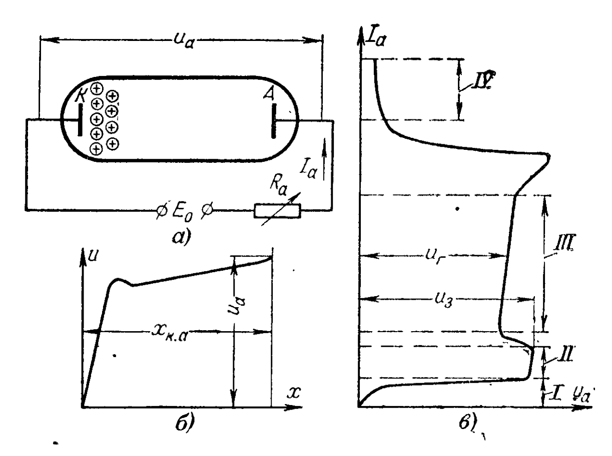


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика газового разряда.

I — область тихого несамостоятельного разряда; *II* — область тихого самостоятельного разряда; *III* — область тлеющего разряда; *IV* — область дугового разряда.

Отметим, что тлеющий разряд может возникнуть, если напряжение источника питания E_0 по крайней мере равно или выше напряжения зажигания $u_з$ газоразрядного прибора. Поддерживаться тлеющий разряд может уже при более низком напряжении — напряжении горения $u_г$.

Четвертая основная область на вольт-амперной характеристике обусловлена дуговым разрядом, при котором весь катод охвачен разрядом, и большую роль играет эмиссия электронов с разогретого катода при бомбардировке положительными ионами.

Используемая в приборах тлеющего разряда область нормального тлеющего разряда характеризуется токами от десятых долей миллиампера до сотен миллиампер при падении напряжения на трубке порядка десятков и сотен вольт.

Для нормального тлеющего разряда характерным является свечение разрядной области, которое распадается на несколько частей.

На катоде виден тонкий слой светящегося газа — первое катодное свечение.

За первым катодным свечением следует темное катодное пространство.

Темное катодное пространство переходит в тлеющее свечение, происходящее в катодной области.

Далее идут фарадеево темное пространство, положительное свечение и анодное свечение, имеющие небольшую яркость.

В приборах тлеющего разряда, в том числе и в декатронах, главную роль в визуальной индикации играет тлеющее свечение. Оно может иметь различный цвет и зависит от состава наполняющего трубку газа.

Приборы тлеющего разряда можно разбить на две основные группы — неуправляемые и управляемые. К неуправляемым приборам относятся стабилитроны, различные приборы для световой индикации и т. д. В управляемых приборах либо регулируется напряжение зажигания анода (тиратроны, тацинотроны), либо производится управление переносом разряда с одного электрода на другой (декатроны, номотроны).

При избирательном переносе разряда с катода на катод у всех декатронов используется то обстоятельство, что катоды, расположенные непосредственно вблизи горящего, имеют сравнительно низкое напряжение зажигания. Снижение напряжения зажигания для таких катодов обусловлено повышенной концентрацией ионов и электронов, создаваемой горящим катодом. Это позволяет проводить направленное перемещение разряда по электродам декатрона, используя достаточно простые средства.

По способу перемещения разряда декатроны делятся на двухимпульсные, одноимпульсные и декатроны с направленным катодом; по частотным характеристикам — на низкочастотные и высокочастотные. По схемным функциям декатроны делятся на счетные, коммутаторные и реверсивные.

ДВУХИМПУЛЬСНЫЙ ДЕКАТРОН

Рассмотрим устройство и принцип работы двухимпульсного декатрона с коэффициентом пересчета 10, один из вариантов которого показан на рис. 2.

Система электродов этого декатрона состоит из 30 штыреобразных катодов, симметрично расположенных вокруг дискообразного анода (рис. 3). Катоды разбиты на десять групп. Три катода каждой группы несут различные функции. Один из них называется индикаторным катодом (*К*), второй — первым подкатодом (*ПК1*) и третий — вторым подкатодом (*ПК2*). Катоды одинакового назначения соединены внутри баллона декатрона перемычками в катодные кольца, имеющие вывод на цоколь. Исключением является один из индикаторных катодов (нулевой), который имеет отдельный вывод на цоколь. Этот катод используется в качестве выходного элек-

трода, а также служит для сброса показаний (установки декатрона на нуль).

Условная электрическая схема включения декатрона приведена на рис. 4.

Питание декатрона осуществляется от источника, напряжение которого обеспечивает зажигание и горение одного из электродов при наличии определенного ограничительного резистора R_3 в анодной цепи. На подкатоды через развязывающие резисторы R_1 и R_2 подается положительное смещение; в статическом состоянии разряд устанавливается между анодом и одним из индикаторных катодов. Пределы рабочего тока, при котором происходит нормальная работа декатрона, указываются в его паспорте.

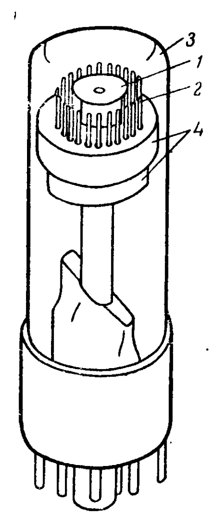


Рис. 2. Общий вид двухимпульсного декатрона.

1 — анод; 2 — катоды; 3 — баллон; 4 — керамический изолятор.

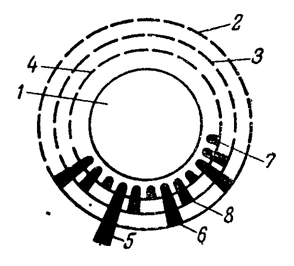


Рис. 3. Схема расположения электродов в счетном двухимпульсном декатроне.

1 — анод (A); 2 — кольцо, объединяющее индикаторные катоды K_1—K_9; 3 — кольцо, объединяющее первые подкатоды ($ПК1$); 4 — кольцо, объединяющее вторые подкатоды ($ПК2$); 5 — нулевой индикаторный катод (K_0); 6 — индикаторный катод; 7 — второй подкатод; 8 — первый подкатод.

Перенос разряда с любого индикаторного катода на следующий осуществляется подачей на кольца подкатодов двух отрицательных смещенных друг относительно друга во времени импульсов. Формирование подобных импульсов производится управляющей схемой после подачи на ее вход запускающего внешнего импульса. В идеальном случае сформированные импульсы прямоугольны и второй импульс начинается сразу после окончания первого.

Первый по времени импульс поступает на кольцо первых подкатодов, второй — на кольцо вторых подкатодов. В момент прихода первого импульса все первые подкатоды приобретают одинаковый отрицательный потенциал, повышающий напряжение между анодом и первыми подкатодами. Вблизи горящего индикаторного катода имеется область повышенной концентрации ионов и электронов, ко-

торая снижает напряжение зажигания $u_з$ для соседнего с ним первого подкатода практически до напряжения горения $u_г$. Напряжение зажигания остальных первых подкатодов остается сравнительно высоким из-за ограниченных размеров области повышенной концентрации ионов и электронов вокруг горящего электрода.

Все это приводит к переносу разряда на первый подкатод, ближайший к горящему катоду. Развитие разряда вызывает пони-

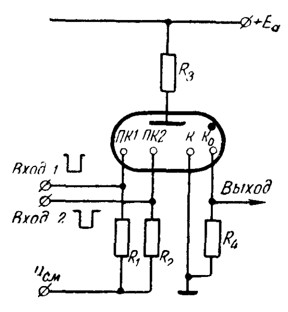


Рис. 4. Электрическая схема включения двухимпульсного декатрона.

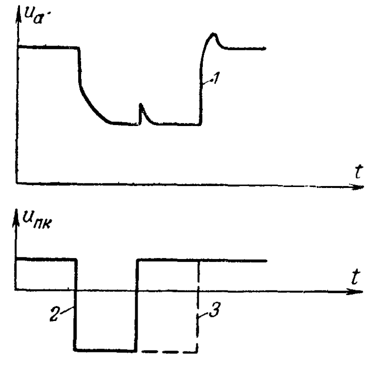


Рис. 5. Изменение потенциала анода при переводе разряда с одного индикаторного катода на другой.

1 — потенциал анода; *2* — импульс на *ПК1*; *3* — импульс на *ПК2*.

жение потенциала анода на величину, приблизительно равную амплитуде отрицательного импульса на первых подкатодах. Напряжение между анодом и горевшим индикаторным катодом при этом становится недостаточным для поддержания разряда между ними, и он гаснет.

Второй отрицательный импульс, подводимый к кольцу вторых подкатодов, после окончания первого вызывает возникновение разряда на втором подкатоде, ближайшем к горевшему первому подкатоду. После окончания второго импульса на подкатодах восстанавливается напряжение смещения и напряжение на аноде соответственно возрастает. При этом возникает разряд на индикаторном катоде, ближайшем к перемещенной ионизированной зоне. Развитие разряда заставляет погаснуть горевший второй подкатод, и на этом заканчивается цикл направленного переноса разряда с одного индикаторного катода на соседний. При подаче следующей пары переносящих импульсов на кольца подкатодов процесс перехода разряда на следующий индикаторный катод повторяется.

На рис. 5 показана форма напряжения на аноде в процессе переноса разряда с одного индикаторного катода на следующий. Два положительных пика на графике соответствуют подъему анодного напряжения выше напряжения горения, что вызывает зажигание разряда на следующем электроде.

Последовательность импульсов, подводимых на вход управляющей схемы, вызывает движение разряда вдоль кольца катодов, причем после каждых 10 входных импульсов на резисторе R_4 (см. рис. 4) в цепи нулевого катода возникают выходные импульсы, частота повторения которых в 10 раз ниже частоты входных импульсов.

ОДНОИМПУЛЬСНЫЙ ДЕКАТРОН

Одноимпульсный декатрон — это одна из разновидностей счетных ламп.

Преимущество одноимпульсного декатрона состоит в том, что он требует для своей работы лишь одного управляющего импульса и, следовательно, делает возможным применение более простых схем управления. Недостаток его — несколько меньшая схемная гибкость по сравнению с двухимпульсным, так как он не позволяет строить реверсивные схемы счета импульсов.

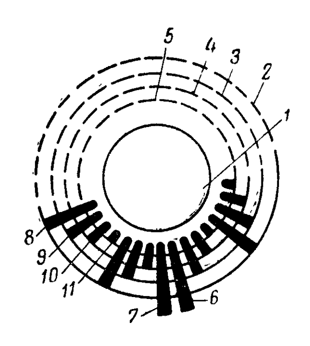


Рис. 6. Схема расположения электродов в одноимпульсном декатроне.

1 — анод (А); *2* — кольцо, объединяющее индикаторные катоды K_1—K_9; *3* — кольцо, объединяющее первые подкатоды (*ПК1*); *4* — кольцо, объединяющее вторые подкатоды (*ПК2*); *5* — кольцо, объединяющее третьи подкатоды $ПК3_0$—$ПК3_8$; *6* — нулевой индикаторный катод (K_0); *7* — подкатод $ПК3_9$; *8* — катод; *9* — первый подкатод; *10* — второй подкатод; *11* — третий подкатод.

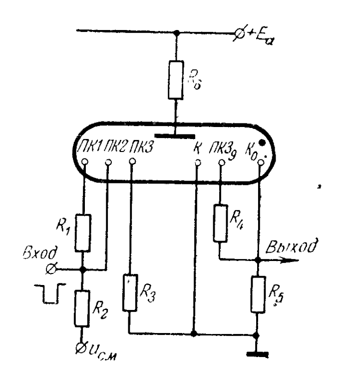


Рис. 7. Электрическая схема включения одноимпульсного декатрона.

Рассмотрим один из вариантов одноимпульсного декатрона с коэффициентом пересчета 10.

Как видно из рис. 6, 40 катодов декатрона, симметрично расположенных вокруг общего анода, разбиты на 10 групп. Катоды с одинаковым назначением объединены перемычками в четыре кольца, одно из которых соединяет индикаторные катоды, а остальные — первые, вторые и третьи переносящие подкатоды. Выводы на цоколь имеют катодные кольца первых, вторых и третьих подкатодов и индикаторных катодов. Отдельные выводы имеют нулевой катод и штырь третьего подкатода, расположенный между девятым и нулевым индикаторными катодами. Последние могут служить источником выходных импульсов.

Принципиальная схема включения одноимпульсного декатрона показана на рис. 7. При отсутствии управляющего импульса разряд протекает между анодом и одним из индикаторных катодов. Для переноса разряда на следующий катод на вход схемы подается отрицательный управляющий импульс, вследствие этого разность потенциалов между анодом и всеми первыми, а также вторыми подкатодами увеличивается.

Так как напряжение зажигания для штыря первого подкатода, ближайшего к горящему катоду, уменьшается за счет ионной подготовки приблизительно до напряжения горения, то на нем начинает развиваться разряд. Одновременно напряжение между анодом и горящим индикаторным катодом понижается до величины, недостаточной для поддержания разряда, и он гаснет.

Развитие разряда на первом подкатоде приводит к увеличению падения напряжения на резисторе R_1. Так как разность потенциалов между анодом и электродом, на котором происходит разряд, остается неизменной, то одновременно повышается потенциал анода.

Когда напряжение между анодом и кольцом вторых подкатодов становится достаточно высоким, происходит перенос разряда с первого подкатода на соседний штырь второго подкатода, так как он оказывается ближайшим к ионизированной зоне.

После окончания управляющего импульса на кольцах первых и вторых подкатодов восстанавливается начальное положительное смещение, и разряд переходит на третий подкатод, соседний с зоной повышенной ионизации (все третьи подкатоды не имеют смещения относительно корпуса). Процесс, аналогичный с процессом в цепи первого подкатода, приводит к переносу разряда на индикаторный катод и прекращению разряда на третий подкатод. Подача последующих входных импульсов вызывает перемещение разряда на соседние индикаторные катоды. После 10 входных импульсов на резисторах R_4 и R_5 в схеме декатрона возникает выходной импульс.

Из рис. 7 видно, что штырь третьего подкатода, предшествующий штырю выходного (нулевого) катода, имеет индивидуальный вывод на цоколь. Резистор R_4, подсоединенный к штырю подкатода, подключен непосредственно к выводу нулевого катода. Благодаря этому разность потенциалов между нулевым катодом и третьим подкатодом мало зависит от нагрузки в цепи катода, что обеспечивает уверенный переход разряда с третьего подкатода на нулевой индикаторный катод. Нулевой вывод третьего подкатода может быть использован также для получения короткого выходного импульса, который предшествует по времени выходному импульсу на нулевом катоде.

ДЕКАТРОН С НАПРАВЛЕННЫМ КАТОДОМ

В последние годы появился новый тип декатрона с так называемым направленным катодом, позволяющий получить сравнительно высокие скорости счета (до 1 *мгц*).

В этих декатронах используется эффект «полого катода», позволяющий перемещать разряд по катоду в нужном направлении.

Эффект полого катода можно пояснить с помощью прибора, где разряд происходит одновременно на два катода, расположенных настолько близко, что их катодные разрядные области смыкаются. При этом первичные электроны с одного из катодов генерируют ионы в области второго катода и наоборот. Последнее обстоятельство повышает общее количество ионов в катодной области, что приводит к увеличению напряженности поля вблизи катодов и числа первичных электронов и, следовательно, к повышению плотности тока в области сближенных катодов.

Разряд при прочих равных условиях переходит на тот участок катода, где имеет место повышенная эмиссия электронов и где, таким образом, облегчаются условия поддержания разряда. Поэтому

если на сплошном катоде имеется отверстие или щель нужных размеров, то разряд переходит на края этого отверстия или щели.

На рис. 8,*а* и *б* схематично показано расположение щелевых катодов и анода в декатроне с направленными катодами. Система его электродов состоит из 10 индикаторных катодов и 10 подкатодов, расположенных между ними, а также цилиндрического анода. На кольцо индикаторных катодов подается положительное смещение. Подкатоды соединены внутри баллона декатрона перемычками

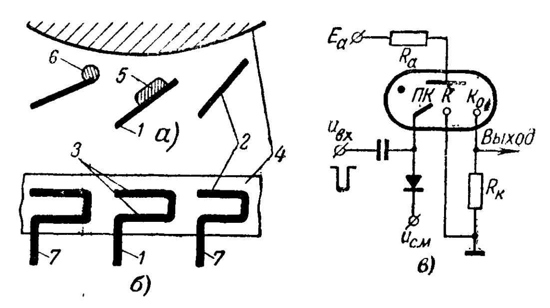


Рис. 8. Декатрон с направленными катодами.

а — вид системы электродов сверху; *б* — вид системы электродов сбоку; *в* — электрическая схема включения декатрона; *1* — вывод катода; *2* — «крючок»; *3* — края щели катода; *4* — анод; *5* — положение установившегося разряда; *6* — положение разряда в начале его развития; *7* — подкатоды.

и имеют один общий вывод. Катоды, в зависимости от назначения декатрона, могут частично соединяться внутри баллона или иметь отдельные выводы на цоколь.

Электрическая схема включения декатрона приведена на рис. 8,*в*.

В исходном состоянии разряд устанавливается на одном из индикаторных катодов, причем на краях щели, образованной параллельными участками стержня («крючка») катода. «Крючки» катодов наклонены к радиусу, проходящему через центр анода под углом около 45°. Вследствие этого область разряда индикаторного катода (а, стало быть, и область повышенной ионизации) смещена в сторону ближайшего левого подкатода. Следовательно, его напряжение зажигания снижено по сравнению с напряжением зажигания ближайшего к разрядной области правого подкатода. Перенос разряда с одного из катодов на следующий осуществляется подачей на единственное кольцо подкатодов отрицательного управляющего импульса. Зажигание разряда происходит между анодом и ближайшей к аноду точкой подкатода, расположенного в зоне повышенной концентрации ионов и электронов (рис. 8). К концу развития разряда последний переходит на края щели подкатода, т. е. смещается в сторону ближайшего левого катода.

После окончания управляющего импульса на подкатодах восстанавливается напряжение смещения, и разряд с горящего подкатода по аналогии с вышеизложенным переходит на ближайший левый катод. На этом процесс переноса разряда с катода на катод заканчивается.

Самостоятельное направленное смещение разрядной области по катодам и подкатодам в процессе развития разряда создает эффект, который достигался перемещением разряда на вторые или третьи подкатоды в двух- и одноимпульсных декатронах. Так как отсутствует потеря времени на перенос разряда по двум или трем подкатодам, в декатронах с направленным катодом можно получить сравнительно высокие скорости счета.

Недостатком декатрона с направленным катодом является отсутствие возможности проводить реверсирование счета.

ДЕКАТРОНЫ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ВЫВОДАМИ ЭЛЕКТРОДОВ НА ЦОКОЛЬ

Описанные в предыдущих параграфах декатроны можно использовать лишь в сравнительно несложных пересчетных устройствах, так как отдельно на цоколь выведен только нулевой индикаторный катод (не считая анода). Остальные электроды одинакового назначения закорочены внутри баллона и имеют объединенные выводы.

Функции декатрона могут быть значительно расширены, если на цоколь вывести определенные электроды из системы катодов и подкатодов.

В коммутаторных декатронах отдельные выводы имеют все индикаторные катоды. Это позволяет использовать их в схемах, вы-

Параметры	Тип де-		
	ОГ3	ОГ4	ОГ7
Напряжение зажигания (не более), *в*	420	375	430
Напряжение источника питания, *в*	450	450±25	450±13,5
Напряжение горения, *в*	190±20	125	225—265
Напряжение смещения подкатодов, *в*	40	35	36—44
Ток анода, *ма*	0,6—0,8	0,5	0,7—0,85
Амплитуда управляющих импульсов, *в*	110—140	150—200	130—150
Длительность управляющих импульсов, *мксек*	17—22	160	⩾7
Длительность переднего фронта управляющих импульсов (не менее), *мксек*	2—5	15	—
Напряжение на катодной нагрузке (максимальное), *в*	15	15	15
Скорость счета, *гц*:			
максимальная	20 000	2 000	50 000
минимальная	1	0,01	0,01
Напряжение сброса, *в*	—	—	130—170
Сопротивление катодной нагрузки (не более), *ком*	—	—	33
Предельное выходное напряжение на катодах, *в*	15	15	15
Цвет свечения	Фиолетовый	Оранжево-красный	Синий
Номера катодов, выведенных на цоколь	Нулевой	Нулевой	Нулевой
Коэффициент пересчета	10	10	10
Конструкция	Одноимпульсный	Двухимпульсный	Двухимпульсный
Назначение	Счет и деление частоты		

* Данные предварительные.

полняющих бесконтактное переключение цепей, а также в счетно-решающих устройствах. Индикация результата в схемах, использующих коммутаторные декатроны, может параллельно проводиться с помощью цифропечатающих устройств.

Иногда для экономии отдельно выводятся только некоторые из индикаторных катодов.

В реверсивных декатронах, которыми могут быть только двухимпульсные, дополнительно выводятся на цоколь первый и второй подкатоды, расположенные между девятым и нулевым индикаторными катодами. Это обстоятельство, как будет видно из дальнейшего, позволяет строить на таких декатронах простые реверсивные схемы счета.

Существуют и другие разновидности декатронов. В табл. 1 приведены данные декатронов, выпускаемых отечественной промышленностью.

КОНСТРУКЦИЯ ДЕКАТРОНОВ

Конструктивно декатрон представляет собой систему штыреобразных цилиндрических катодов, расположенных вокруг дискообразного или цилиндрического анода. Для облегчения визуальной индикации положения разрядного свечения через купол прозрачного

Таблица 1

катрона					
ОГ8	А101	А102	А103	А104	А105
480	375	430	430	430	415
≥500	≥420	≥435	≥435	450	450
255—295	105—145	190—230	225—265	235—275	≤125
36—44	36—44	35—40	36—44	50—60	~40
1,1—1,3	0,3—0,45	1,1—1,5	0,7—0,85	0,9—1,05	1,35—1,65
80—110	135—165	~180	130—150	160—190	~200
3—10	200—1 000	≥20	≥7	≥3	≥200
0,3—0,5	10—30	8	—	0,4—0,5	—
7,5	15	—	15	15	15
100 000	1 000	20 000	50 000	100 000	1 000
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
75—125	135—165	≥150	130—170	120—160	≥150
7,5	—	—	—	33	12
7	20	—	15	15	15
Голубой	Оранжево-красный		Синий	Синий	Оранжево-красный
0,3,5,9	Все	Все	Все	Все	Все
10	10	10	10	10	10
С направленным катодом	Двухимпульсный	Двухимпульсный	Двухимпульсный	Двухимпульсный	Двухимпульсный
	Счет и бесконтактная коммутация				

баллона наименьший диаметр расположения катодов делают порядка 20 *мм*. Длина рабочих частей катода, возвышающихся над керамическим изолятором, 7 *мм*. Разрядное свечение занимает примерно половину этой длины, что обеспечивает необходимый диапазон изменения токов в большую и меньшую сторону (известно, что при тлеющем разряде изменение рабочего тока не приводит к изменению его плотности на катоде, а меняется лишь площадь катода, охваченная разрядом).

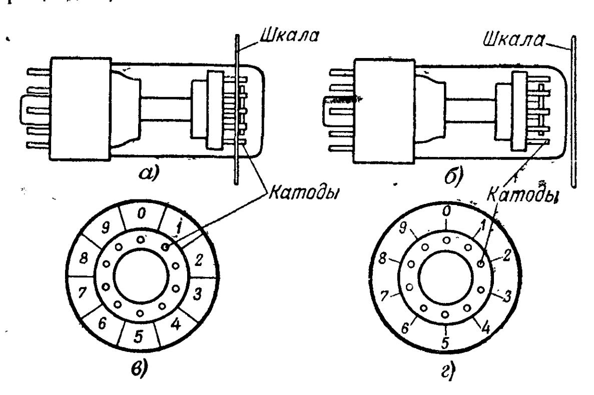


Рис. 9. Конструктивное оформление шкалы декатрона.
а, в — правильно; *б, г* — неправильно.

Купол баллона декатронов для облегчения визуальной индикации разряда иногда делают плоским. Отметим, что расположение цифровой шкалы на куполе баллона декатрона также играет значительную роль для безошибочной индикации положения разряда.

На рис. 9,*а* показано правильное, а на рис. 9,*б* неправильное положение шкалы по длине декатрона, на рис. 9,*в* правильное, а на рис. 9,*г* неправильное оформление цифровой шкалы.

Баллоны декатронов наполняются смесью газов под небольшим давлением. Выбор наполнения определяется необходимой скоростью счета декатрона и другими факторами. От состава смеси зависит цвет разрядного свечения. Так, гелиево-неоновая смесь, которой наполняют низкочастотные декатроны, имеет оранжево-красное, а гелиево-водородная смесь, предназначенная для более высокочастотных декатронов, — фиолетово-синее свечение.

Глава вторая

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕКАТРОНОВ

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Последующий материал изложен с точки зрения работы двухимпульсного декатрона. Однако с некоторыми поправками он остается верным применительно к одноимпульсным декатронам и к декатронам с направленным катодом.

В реальном двухимпульсном декатроне все 30 разрядных промежутков характеризуются собственными напряжениями горения и степенью воздействия на соседние разрядные промежутки. Это обусловлено технологическим разбросом геометрии его электродов и состоянием поверхности.

Для ознакомления со статическими характеристиками декатрона примем, что все его разрядные промежутки идентичны как по гео-

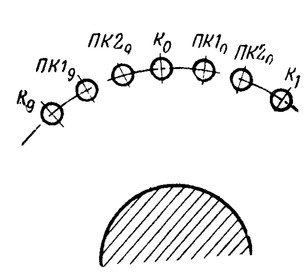


Рис. 10. Геометрия разрядных промежутков в декатроне.

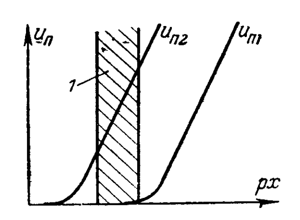


Рис. 11. Зависимость напряжений переноса от произведения давления газа (p) на расстояние между электродами (x).
1 — оптимальная область.

метрии, так и по свойствам поверхности электродов. Такой декатрон будем считать идеальным.

Как уже отмечалось, основой механизма направленного переноса разряда является понижение напряжения зажигания для электрода, соседнего с горящим. Практически оно превышает напряжение горения всего на несколько вольт. Разность напряжений зажигания и горения в этом случае называется напряжением переноса ($u_{п1}$).

Если, например, разряд горит на индикаторном катоде K_0 (рис. 10), то понижение потенциала первых подкатодов по отношению к катоду K_0 на величину $u_{п1}$ вызывает перенос разряда на подкатод $ПК1_0$. Разряд на подкатоде $ПК1_9$ не развивается, так как напряжение переноса для него ($u_{п2}$) увеличено из-за сравнительно большого расстояния от горящего электрода K_0, а стало быть, и от ионизированной зоны. Таким образом, соблюдение условия $u_{п2}>u_{п1}$ необходимо для правильной работы декатрона.

Условие $u_{п2}>u_{п1}$ достигается не только различными расстояниями между электродами $ПК1_9$—K_0 и $ПК1_0$—K_0, но и величиной тока на горящем электроде, а также давлением газовой смеси в баллоне декатрона.

На рис. 11 показана зависимость величины напряжений $u_{п1}$ и $u_{п2}$ от произведения давления газовой смеси p внутри баллона на расстояние x от подкатода до горящего катода.

Из рисунка можно заключить, что существует некоторая оптимальная область произведений px, для которой характерно достаточное превышение $u_{п2}$ над $u_{п1}$ и в то же время сама величина $u_{п1}$ еще не слишком велика. Это обстоятельство дает возможность использовать в качестве управляющих импульсов сигналы с небольшой амплитудой.

СБОИ ДЕКАТРОНОВ ИЗ-ЗА ПЕРЕНОСА РАЗРЯДА В ОБРАТНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Процесс переноса разряда в нужном направлении происходит именно так, как описано в предыдущих параграфах в случае, если время пребывания разряда на каждом электроде достаточно велико.

При уменьшении этого времени (что требуется в случае повышения скорости счета) в декатроне возникают процессы, приводящие к сбоям в его работе. Эти сбои связаны с динамикой установления ионизированных областей около горящих электродов.

Различают два вида таких сбоев — сбои вследствие обратного переноса и дискриминационные сбои.

Сбой вследствие обратного переноса проявляется в том, что при попытке перевести разряд с n-го электрода на $(n+1)$-й электрод (управляющий импульс подается на кольцо первых подкатодов), разряд устанавливается на $(n-2)$-м электроде. При подаче управляющего импульса на кольцо вторых подкатодов разряд переходит на $(n-1)$-й электрод и затем загорается снова тот же электрод (n-й), с которого делалась попытка перевести разряд. Таким образом, подача каждой следующей пары импульсов заставляет разряд перемещаться по одной и той же тройке электродов.

Для того чтобы понять, при каких условиях может возникнуть описанное явление, рассмотрим процесс более подробно. Предположим, что разряд переносится с $(n-1)$-го электрода на n-й, а затем на $(n+1)$-й. Если пауза между переносящими импульсами велика, то процесс переноса разряда происходит как обычно. Однако при уменьшении паузы между импульсами деионизация в зоне $(n-2)$-го электрода, вызванная разрядом на $(n-1)$-й электрод, еще не успевает закончиться. Кроме того, ионизация в зоне $(n+1)$-го электрода оказывается недостаточной из-за небольшого времени горения разряда на n-м электроде.

Все это приводит к тому, что подача переносящего импульса на кольцо первых подкатодов вызывает перенос разряда с n-го на $(n-2)$-й электрод.

На рис. 12,*а* показан временной процесс формирования напряжений зажигания на $(n+1)$-м и $(n-2)$-м промежутках после перевода разряда (с $n-1$)-го на n-й электрод. Из рисунка видно, что напряжение зажигания на $(n+1)$-м электроде снижается не сразу после загорания разряда на n-м электроде. Аналогично, повышение напряжения зажигания на $(n-2)$-м электроде проходит постепенно.

Вероятность переноса в нужном направлении повышается, если переносящий импульс подается на кольцо первых подкатодов после точки пересечения кривых для обоих электродов. До точки пересечения кривых более вероятен обратный перенос разряда на $(n-2)$-й электрод.

Направление перехода разряда при прочих равных условиях зависит от амплитуды переносящих импульсов. Если амплитуда импульсов не слишком велика, то разряд в промежутках $(n+1)$ и $(n-2)$ развивается достаточно медленно, так что кривые напряжений зажигания на рис. 12,*а* успевают пересечься к моменту пробоя промежутка.

Если же амплитуды переносящих импульсов чересчур велики, то разряд в промежутках развивается быстро, и первым может загореться $(n-2)$-й электрод, так как к моменту пробоя промежутка кривые на рис. 12,*а* не успевают пересечься.

Практика подтверждает этот факт. При уменьшении времени пребывания разряда на n-м электроде вероятность переноса разряда в обратном направлении увеличивается при повышенной амплитуде импульса, предназначенного для переноса разряда с n-го электрода на $(n+1)$-й.

Рассмотрим теперь другой тип сбоя — дискриминационный, также связанный с динамикой развития разряда. Этот тип сбоя вызывает возврат разряда на $(n-1)$-й электрод при попытке его переноса с n-го на $(n+1)$-й электрод.

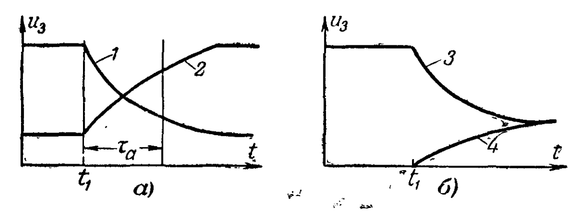


Рис. 12. Динамика изменения напряжений зажигания на электродах после окончания переносящего импульса.

1 — напряжение зажигания ($u_з$) промежутка $A—K_{n+1}$; 2 — $u_з$ — промежутка $A—K_{n-2}$; 3 — $u_з$ — промежутка $A—K_{n+1}$; 4 — $u_з$ промежутка $A—K_{n-1}$; t_1 — момент окончания переносящего импульса.

В схемах управления декатронами для переноса разряда с n-го на $(n+1)$-й электрод к последнему прикладывается отрицательное напряжение и одновременно на предшествующий $(n-1)$-й электрод подается положительное напряжение. Это приводит к облегчению условий переноса разряда в нужном направлении.

Однако в реальных схемах эти условия могут быть нарушены. Пусть, например, разряд происходит на электрод $ПК2_9$ (см. рис. 9), на электрод $ПК1_9$ подано смещение +60 *в*, а потенциал индикаторного катода K_0 равен нулю. После прекращения действия отрицательного импульса на $ПК2_9$ на нем восстанавливается напряжение смещения +60 *в*, что приводит к переходу разряда на индикаторный катод K_0.

Если по каким-либо причинам напряжение смещения на подкатоде $ПК1_9$ невелико (например, +20 *в*), то после восстановления смещения +60 *в* на электроде $ПК2_9$ напряжение на промежутке анод — индикаторный катод K_0 всего на 20 *в* превосходит напряжение на промежутке анод — подкатод $ПК1_9$ (разница этих напряжений называется напряжением дискриминации).

Если на $ПК1_9$ незадолго перед этим происходил разряд, то вокруг него еще сохраняется остаточная ионизация, уменьшающая его напряжение зажигания. В то же время на индикаторный катод K_0 только начинает действовать пространственный заряд, создаваемый разрядом на электроде $ПК2_9$. Эти факторы приводят к переходу разряда с $ПК2_9$ в обратном направлении на электрод $ПК1_9$ при недостаточном времени пребывания разряда на $ПК2_9$. Затем разряд самостоятельно переходит на предыдущий индикаторный катод.

На рис. 12,б показано, как изменяются напряжения зажигания $(n+1)$-го и $(n-1)$-го электрода после зажигания разряда на

n-м электроде. Из рисунка видно, что уверенный перенос с n-го на $(n+1)$-й электрод может проводиться лишь после достаточного сближения кривых при условии, если напряжение дискриминации не делать чересчур большим.

Соображения, изложенные в этом параграфе, позволяют сформулировать некоторые правила, относящиеся к управлению двухимпульсным декатроном (правила достаточности):

1. Во избежание обратного переноса разряда при повышенных скоростях счета амплитуда переносящего импульса должна быть меньше установленной максимальной амплитуды по крайней мере в течение некоторого времени τ_a. Время τ_a определяется видом графика изменения напряжений зажигания электродов на рис. 12,*а*. Допустимая амплитуда зависит от времени пребывания разряда на n-м электроде.

2. Напряжение дискриминации, т. е. разность напряжений между индикаторным катодом и первым подкатодом, должно быть больше, чем определенный минимум, зависящий от времени пребывания разряда на втором подкатоде. Зависимость минимального напряжения дискриминации от времени пребывания разряда на втором подкатоде показана на рис. 12,*б*.

3. Напряжение между любыми двумя катодами не должно превышать определенного максимума, несколько меньшего напряжения горения. Это не позволяет любому из них работать в качестве анода.

По понятным соображениям последнее обстоятельство регламентирует максимальную амплитуду отрицательных переносящих импульсов, подводимых к подкатодом.

В табл. 1 приведены данные об амплитудах и длительностях управляющих импульсов для отечественных двухимпульсных декатронов, удовлетворяющих правилам достаточности.

НЕИДЕАЛЬНОСТЬ СВОЙСТВ ДЕКАТРОНОВ

После изготовления реальный декатрон (двухимпульсный, одноимпульсный или декатрон с направленным катодом) может иметь дефекты, обусловленные технологическим разбросом геометрии электродов, а также состоянием их поверхности.

Вследствие этого статические характеристики отдельных катодов декатрона (напряжение горения и зажигания) также имеют разброс и отличаются от характеристик идеального декатрона.

Механические дефекты электродов, как правило, обнаруживаются изготовителем в процессе испытания готовых приборов. Дефекты же, обусловленные состоянием поверхности электродов, проявляются в основном в процессе эксплуатации и их тяжело выявить на стадии изготовления декатронов.

Изменение состояния поверхности электродов вызывается загрязнениями материалов, из которых изготовляются детали декатронов. Кроме того, оно может меняться во времени и в значительной степени зависит от режима работы прибора.

Из дефектов, обусловленных изменением состояния поверхности электродов, наиболее известен эффект примыкающего катода. Если режим использования декатрона вызывает долгое непрерывное горение одного из катодов, то измерение напряжения горения примыкающих к разряду электродов показывает, что с течением времени происходит существенное изменение этой величины. Природа этого явления связана, как установлено, с изменением характера загряз-

нения электродов, находящихся в зоне действия пространственного заряда горящего электрода.

Для декатронов, наполненных инертными газами без примесей, напряжение горения примыкающих электродов постепенно возрастает и приближается к величине, превосходящей приблизительно на 25 *в* номинальное.

При использовании в качестве наполнения декатронов смесей, содержащих водород, происходит обратное явление. Напряжение горения примыкающих электродов постепенно падает. В то же время напряжение горения горящего электрода сохраняется практически неизменным.

Эффект примыкающего электрода приводит к тому, что последние каскады многоразрядных декатронных счетчиков оказываются неспособными к правильному счету импульсов.

Для схемной компенсации указанного эффекта обычно прибегают как к увеличению амплитуды, так и к увеличению длительности переносящих импульсов, подводимых к подкатодам декатронов.

Глава третья

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕКАТРОНАМИ

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Прежде чем перейти к описанию конкретных схем включения декатронов, целесообразно отметить некоторые моменты, общие для всех схем.

1. Как правило, простейшие схемы на декатронах строятся на основе блок-схемы, показанной на рис. 13. Декатронное устройство включает в себя генератор входных импульсов, несколько счетных каскадов и устройство для сброса показаний декатронов на нуль.

Если частота следования входных импульсов высока, то один или два первых счетных каскада выполняются на основе высокочастотных декатронов. В остальных каскадах обязательно применяются низкочастотные декатроны, так как при работе на низких частотах (ниже 10 *гц*) они более стабильны.

Входным импульсом для счетных каскадов в таких схемах является выходной импульс, снимаемый с нулевого индикаторного

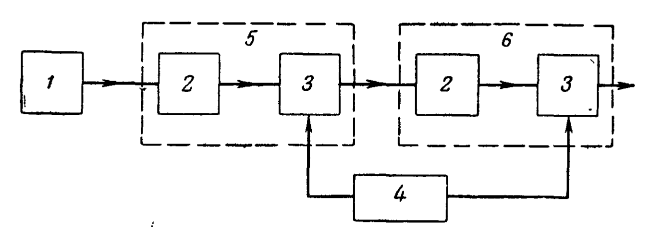


Рис. 13. Блок-схема устройства на декатронах.

1 — генератор входных импульсов; *2* — схема формирования управляющих импульсов; *3* — декатрон; *4* — устройство сброса показаний декатронов перед началом счета; *5*, *6* — первый и второй счетные каскады.

катода декатрона предыдущего каскада. Схема формирования каждого счетного каскада выполняет преобразование поступающего импульса и обеспечивает направленный перенос разряда декатрона.

2. Схемы формирования для двухимпульсных декатронов не обязательно должны генерировать два последовательных прямоугольных импульса с жесткими допусками по фазе, длительности и амплитуде. Это необходимо лишь на предельных скоростях счета. На практике, как правило, используются упрощенные схемы формирования типа усилителей с двумя фазосдвигающими RC-цепочками, на выходе которых образуются сдвинутые по фазе импульсы. Естественно, что импульсы, полученные в таких схемах, должны удовлетворять условиям достаточности, сформулированным выше.

Аналогичные устройства используются в качестве схем формирования и для одноимпульсных декатронов.

Пассивные цепи расщепления импульсов для двухимпульсных декатронов и цепи, служащие для перевода разряда по подкатодам одноимпульсного декатрона, имеют различный вид. Однако, если это не вызывается особыми соображениями по улучшению работы конкретных декатронных устройств, необходимо пользоваться типовыми схемами (рис. 14), рекомендованными в ЧТУ на декатроны.

3. Паразитная емкость между анодом и катодом декатрона часто может служить причиной неудовлетворительной работы счетного каскада.

Большое анодное сопротивление декатронов в сочетании с паразитной емкостью увеличивает постоянную времени анодных цепей. Прекращение действия управляющего импульса на подкатод декатрона в этом случае не приводит к синхронному увеличению потенциала анода. Это вызывает временное погасание разряда в декатроне и, соответственно, рассасывание ионизированной зоны возле ранее горевшего подкатода.

Восстановление анодного напряжения после промежутка времени, определяемого постоянной времени анодной цепи, заставляет разряд зажечься на случайном индикаторном катоде. В реальном декатроне разряд зажигается на катоде, имеющем по каким-либо причинам наименьшее напряжение зажигания.

Для некоторой компенсации указанного явления анодное сопротивление необходимо припаивать непосредственно к панели декатрона. Указанное мероприятие исключает влияние емкости монтажа (которая может достигать 30—50 *пф*). Теперь постоянная времени анодной цепи декатрона определяется только его межэлектродной емкостью, составляющей около 10 *пф*.

Высокочастотные декатроны для дальнейшего снижения постоянной времени конструируются на увеличенные рабочие токи, что дает возможность соответственно уменьшить анодное сопротивление.

4. Выходное сопротивление, включаемое в цепь нулевого индикаторного катода, может при некоторых условиях нарушать работу счетного каскада.

Если разряд устанавливается на нулевом катоде, то его потенциал за счет падения напряжения на выходном сопротивлении повышается по отношению к другим катодам. Если потенциал выходного катода отличается от потенциала остальных катодов на величину, превышающую напряжение переноса через два промежуточных электрода, то разряд переносится на один из соседних индикаторных катодов. Для уменьшения влияния указанного эффекта на работу декатрона иногда используют некоторое отрицательное

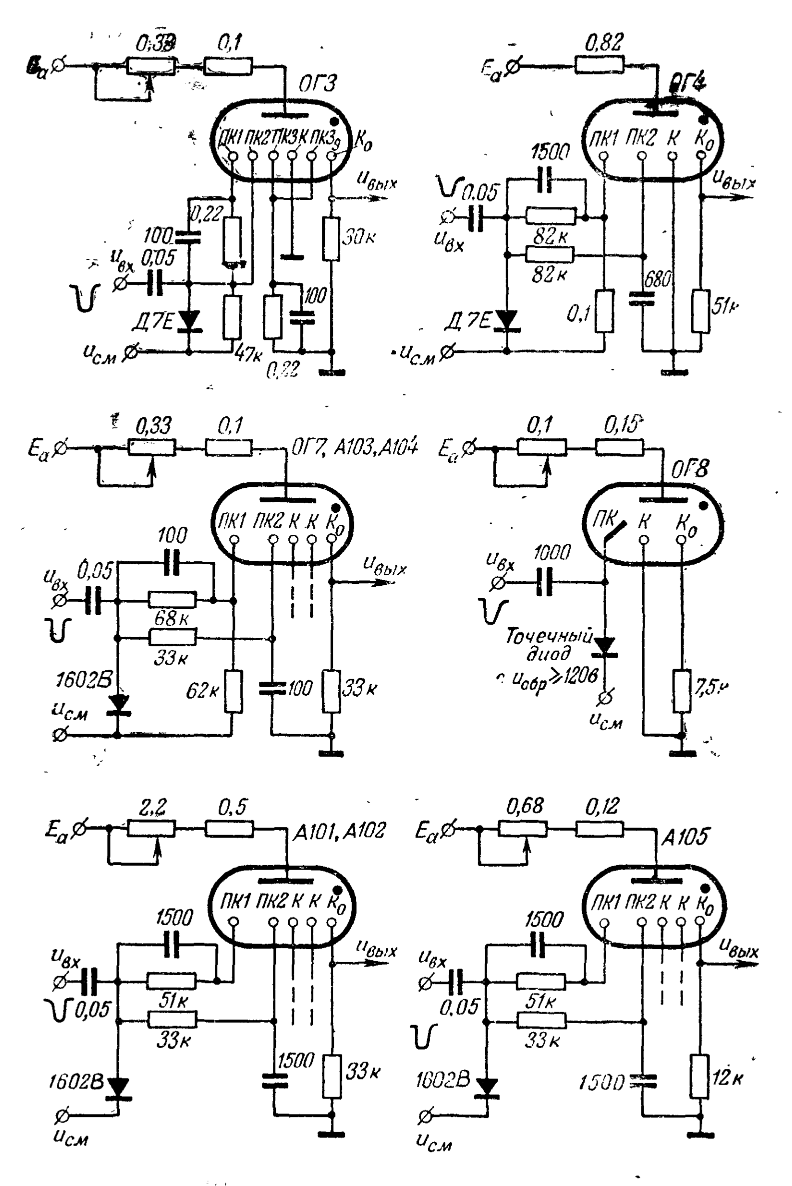


Рис. 14. Схемы типовых пассивных формирующих цепей для запуска декатронов.

смещение на нулевой катод. При этом достигается уменьшение разницы между потенциалами нулевого индикаторного катода и группой остальных катодов при сохранении амплитуды выходного импульса декатрона.

Так, например, при подаче на нулевой индикаторный катод отрицательного смещения 20 *в* можно получить амплитуду выходного сигнала 40 *в* (потенциал меняется от —20 *в* до +20 *в*). При этом его потенциал отличается от потенциала других катодов не более чем на 20 *в*, что удовлетворяет условиям достаточности.

5. Один из видов нарушения работы декатронов может быть связан с величиной внутреннего сопротивления схемы, формирующей управляющие импульсы для подкатодов. Если это сопротивление велико, то падение напряжения на нем за счет тока подкатодов приводит к эквивалентному увеличению напряжения смещения подкатодов. Это смещение может оказаться настолько большим, что управляющие импульсы не смогут перевести разряд с индикаторных катодов на подкатоды.

На практике такое явление возникает при использовании схем формирования импульсов, имеющих малое сопротивление по переменному току и большое сопротивление по постоянному. При высокой частоте следования входных импульсов конденсатор схемы формирования подзаряжается током подкатодов, причем его заряд не успевает стекать за время паузы между входными импульсами.

Для устранения подобного явления резисторы утечки схем формирования высокочастотных каскадов заменяют диодами, восстанавливающими постоянную составляющую.

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХИМПУЛЬСНЫМИ ДЕКАТРОНАМИ

В этом и следующем параграфах под схемами управления подразумеваются схемы, использующие в качестве входных сигналов импульсы, снимаемые с выходного резистора декатрона предыдущего счетного каскада.

Как уже отмечалось, прямоугольная форма управляющих импульсов существенна для декатрона, работающего при высокой скорости счета, так как быстрое установление полной амплитуды импульса на подкатодах сокращает время перевода разряда на новый электрод и тем самым обеспечивает предельную скорость работы декатрона.

Если управляющие импульсы не прямоугольны, то для нормальной работы декатронов их длительность должна быть увеличена с тем, чтобы длительность импульса вблизи его вершины не оказалась меньше указанной в табл. 1.

Ввиду того что формирование прямоугольных импульсов довольно сложно, в случае использования двухимпульсных декатронов на пониженных частотах применяют упрощенные схемы управления. В них простыми средствами достигается расщепление исходного одиночного импульса на два. На практике применяется большое количество управляющих схем, использующих электронные лампы, транзисторы и газоразрядные приборы.

Разнообразие используемых схем указывает на то обстоятельство, что пока еще не разработано управляющее устройство, которое имеет несомненные преимущества перед остальными. В связи с этим целесообразно привести описание нескольких типичных упрощенных схем, применяемых для управления двухимпульсными декатронами.

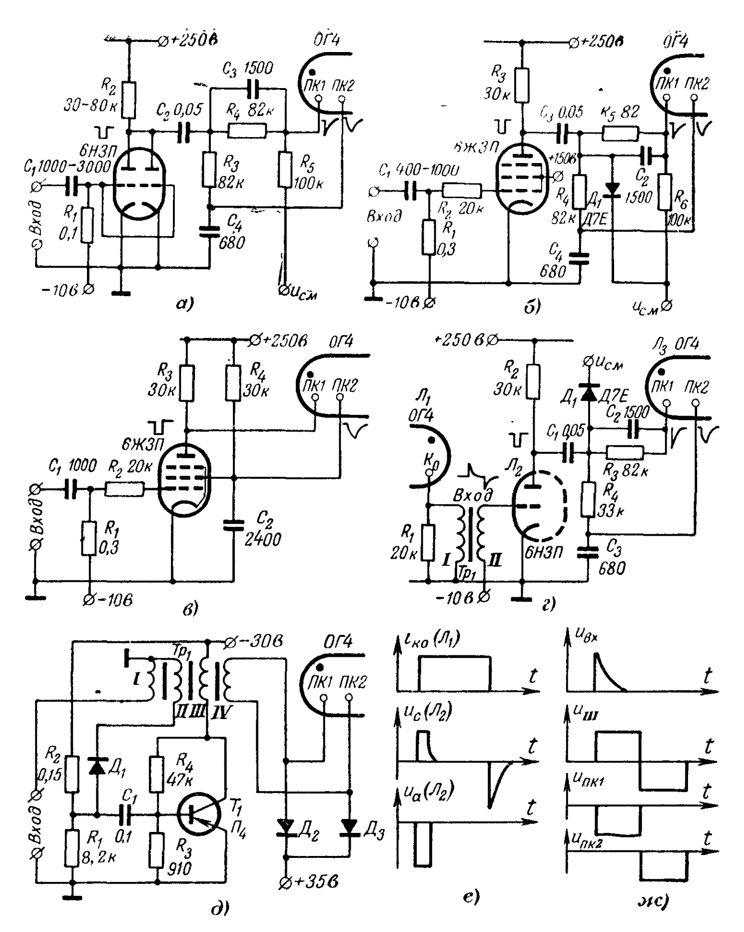


Рис. 15. Упрощенные схемы управления двухимпульсными декатронами.

В схеме рис. 15,*а* положительный импульс с выходного резистора предыдущего декатрона усиливается и переворачивается по фазе. Усиленный исходный импульс с резистора R_2 поступает на подкатоды через две формирующих *RC* цепи. Дифференцирующая цепь $C_3R_4R_5$ обеспечивает мгновенное поступление импульса на первые подкатоды и переход разряда декатрона на один из них. Через промежуток времени, определяемый емкостью C_3 и резисторами R_4, R_5 амплитуда импульса начинает падать.

В это время задержанный импульс, снимаемый с интегрирующей цепи R_3C_4 и подающийся на вторые подкатоды, приобретает необходимую амплитуду. Разряд декатрона переходит на соответствующий второй подкатод. После окончания входного импульса

напряжение на вторых подкатодах также начинает плавно снижаться, и разряд декатрона переходит на следующий катод.

В управляющей схеме на рис. 15,*б* достигается значительно бо́льшая скорость счета, нежели в схеме рис. 15,*а* за счет использования диода $Д_1$, который способствует стеканию в цепи подкатодов накапливающегося заряда при больших скоростях счета. В остальном механизм работы схем 15,*а* и *б* одинаков.

Еще бо́льшие скорости работы реализуются схемой на рис. 15,*в*. Здесь первый подкатод декатрона подсоединен к аноду нормально запертого пентода, а второй подкатод — к его экранной сетке. После подачи положительного входного импульса на управляющую сетку пентода через него начинает течь ток, и напряжение на его аноде падает. При этом разряд в декатроне переходит на первый подкатод. Одновременно ток экранирующей сетки пентода постепенно разряжает конденсатор C_2, что приводит к появлению задержанного отрицательного импульса на втором подкатоде.

Как показала практика, в зависимости от длительности входных импульсов, т. е. в зависимости от скорости работы предыдущего декатрона, номиналы конденсаторов и резисторов пассивных цепей формирования импульсов должны изменяться. При снижении скорости работы предыдущего декатрона, например, приходится увеличивать емкость конденсаторов C_3 и C_4 (рис. 15,*а*), C_2 и C_4 (рис. 15,*б*) и C_2 (рис. 15,*в*).

Управляющая схема для межкаскадного формирования импульсов, приведенная на рис. 15,*г*, свободна от этого недостатка и может использоваться не только в каскадах с разными рабочими скоростями, но и в каскадах с неизвестным заранее распределением во времени входных импульсов. Входной импульс для управляющей лампы формируется импульсным трансформатором $Тр_1$ (с сердечником из оксифера или другого высокочастотного магнитного материала), вторичная обмотка *II* которого является повышающей. Прямоугольный импульс тока в цепи нулевого индикаторного катода (рис. 15,*е*) вызовет появление на первичной обмотке *I* трансформатора двух импульсов, причем положительный импульс соответствует переднему фронту импульса тока в цепи нулевого катода декатрона, а отрицательный — заднему фронту. Длительность и амплитуда импульсов зависят от числа витков первичной обмотки и остаются неизменными при изменении скорости счета декатрона.

В схеме на рис. 15,*г* используется трансформатор с сердечником 31×18×7 *мм* из оксифера М-2000. Обмотка *I* содержит 900, а обмотка *II* — 1 600 витков провода ПЭВ 0,1 *мм*.

Соотношение между витками вторичной и первичной обмоток трансформатора подбирается так, чтобы в ненагруженном состоянии амплнтуда импульсов вторичной обмотки составляла 20—25 *в*. Положительный импульс на вторичной обмотке трансформатора приобретает форму, близкую к прямоугольной, за счет срезания вершины сеточными токами лампы, отрицательное смещение которой составляет 10—15 *в*. Для подавления колебательных процессов в импульсном трансформаторе необходимо шунтировать его первичную обмотку резистором с сопротивлением 20—30 *ком*. Схема уверенно работает на предельных скоростях двухимпульсных декатронов.

В последние годы появилось много схем формирования импульсов, использующих транзисторы, которые увеличивают надежность и сокращают габариты схем. Одна из них представлена на рис. 15,*д*. Эта схема представляет собой блокинг-генератор с четырехобмоточным трансформатором $Тр_1$. Функцией обмотки *II* является создание

положительной обратной связи между коллектором и базой транзистора T_1. Повышающая обмотка *IV* создает импульсы, подающиеся на подкатоды декатрона. Обмотка *I* является входной. Для стабилизации параметров транзистор несколько приоткрыт за счет подключения его базы к потенциометру R_4R_3. Резистор R_4 играет также роль демпфирующего элемента для подавления колебательных процессов в трансформаторе. Диод $Д_1$ заперт напряжением, снимаемым с потенциометра R_1R_2, и ток через обмотку *II* трансформатора не идет.

Формы напряжений в схеме на рис. 15,*д* показаны на рис. 15,*ж*. В момент поступления внешнего импульса соответствующей полярности на обмотку *I* потенциал точки соединения диода $Д_1$ с обмоткой *II* становится отрицательным, диод начинает проводить и потенциал базы транзистора падает. При этом транзистор отпирается, и его проводимость регенеративно увеличивается за счет положительной обратной связи между обмотками *II* и *III*, конденсатор C_1 заряжается током базы, вследствие чего потенциал последней повышается.

Когда нарастание тока через транзистор T_1 прекращается, процесс заряда конденсатора продолжается максимальным током, пока потенциал базы не достигнет положительного значения, достаточного для некоторого подзапирания транзистора.

Уменьшение тока транзистора вызывает развитие обратного регенеративного процесса. Потенциал коллектора возвращается к исходному состоянию, а затем становится еще более отрицательным за счет действия противо-э. д. с., обусловленной запасенной в трансформаторе энергией.

При спадании э. д. с. потенциал коллектора возвращается к исходному состоянию. После разряда конденсатора C_1 схема готова к запуску следующим внешним импульсом. За счет противо-э. д. с. импульс блокинг-генератора имеет выброс, по форме и амплитуде близкий к положительному, но противоположной полярности.

Импульс, трансформируемый повышающей обмоткой *IV*, разделяется диодами $Д_2$ и $Д_3$ на два последовательных по времени импульса, которые подводятся к кольцам первых и вторых подкатодов декатрона. Диоды включены таким образом, что первая по времени положительная часть импульса блокинг-генератора подается на первый подкатод в виде отрицательного импульса, а вторая, отрицательная часть поступает на второй подкатод.

В импульсном трансформаторе Tp_1 используется сердечник 31×18×7 *мм* из оксифера М-2000. Обмотка *I* содержит 100, обмотки *II* и *III* — по 60 и обмотка *IV* — 300 витков.

Нужно отметить, что для хорошей работы блокинг-генератора обмотка *IV* должна иметь минимальную межвитковую емкость и емкость связи с другими обмотками (большие емкости уменьшают крутизну фронтов управляющего импульса и даже приводят к срыву работы блокинг-генератора).

Длительность импульса блокинг-генератора может быть отрегулирована подбором емкости конденсатора C_1. Так, например, при емкости конденсатора C_1 0,1 *мкф* длительность импульса равна 40—50 *мксек*, а при C_1 0,5 *мкф* длительность импульса возрастает до 120—130 *мксек*.

Значительное распространение в схемах управления декатронами получили тиратроны тлеющего разряда с холодным катодом. Это объясняется их надежностью, малыми габаритами, а также способ-

ностью генерировать импульсы с достаточной амплитудой, что дает возможность легко использовать их для запуска декатронов.

Принципиальная схема одного из таких устройств приведена на рис. 16,*а*. Основа схемы — ждущий релаксационный генератор на миниатюрном тиратроне ТХ5Б. Входной сигнал, полученный с предыдущего декатрона, поджигает тиратрон, и конденсатор C_2 разря-

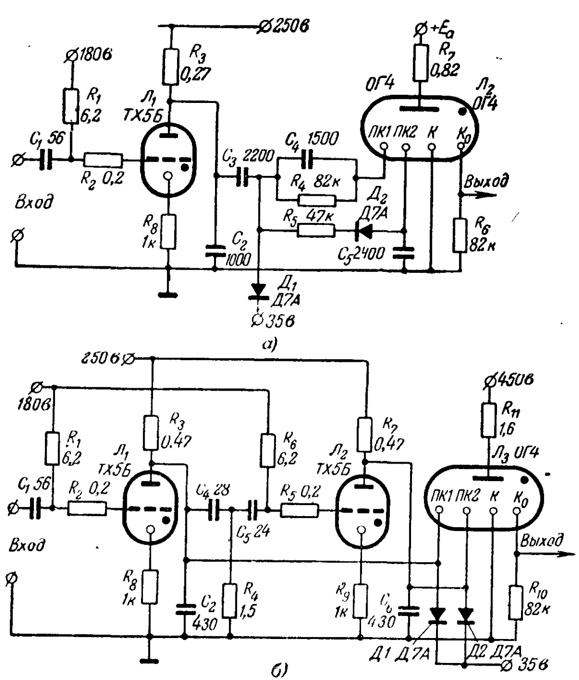


Рис. 16. Схемы управления на тиратронах тлеющего разряда.

жается через ограничительный резистор R_8. Затем заряд конденсатора C_2 восстанавливается током, текущим через резистор R_3, и схема вновь готова к работе. Постоянная времени R_3C_2 задает длительность исходного управляющего импульса. Получение двух сдвинутых во времени импульсов достигается обычным способом с помощью дифференцирующей цепи C_4R_4 и интегрирующей цепи $C_5(R_5+R_{\text{обр.д}})$.

Диод $Д_1$ в этой схеме необходим для восстановления постоянной составляющей напряжения смещения. Диод $Д_2$ позволяет увеличить постоянную времени разряда цепи $C_5(R_5+R_{\text{обр.д}})$ и сохранить небольшую постоянную времени заряда цепи C_5R_5, что необходимо для быстрого восстановления готовности схемы. Описанная схема удовлетворительно работает до 1—1,5 *кгц*.

Если требуется повышение скорости работы схемы, то может быть применена схема с двумя тиратронами (рис. 16,*б*), формирующая отдельные импульсы для первых и вторых подкатодов. Часть

схемы на $Л_1$ работает описанным выше образом и генерирует импульс для первых подкатодов. Второй тиратрон пробивается после частичного восстановления заряда емкости C_2 за счет протекания тока разряда паразитной емкости сетка — катод тиратрона $Л_2$ и других емкостей через резистор R_5. Задержанный по времени импульс, вызванный этим процессом, поступает на вторые подкатоды декатрона.

УПРАВЛЯЮЩИЕ СХЕМЫ ДЛЯ ОДНОИМПУЛЬСНЫХ ДЕКАТРОНОВ

В качестве основы управляющей схемы для одноимпульсных декатронов может использоваться любая из схем, описанных ранее. При этом, естественно, не используются цепи для расщепления исходного импульса. Формирование потенциалов на подкатодах, направленно переводящих разряд декатрона, осуществляется с помощью цепей, включенных последовательно с подкатодами.

Правильный выбор схемы этих цепей, а также схемы, генерирующей исходный импульс, позволяет сделать счетную схему менее критичной к отклонению параметров декатрона от номинальных.

В основной схеме запуска одноимпульсного декатрона, показанной на рис. 7, сопротивления резисторов R_1 и R_3 довольно критичны. При увеличении сопротивлений ток в цепи соответствующих подкатодов оказывается недостаточным для образования эффективной ионизационной зоны вокруг горящих подкатодов. Уменьшение этих сопротивлений может привести к тому, что падение напряжения на них окажется недостаточным для перевода разряда с горящего подкатода на следующий электрод.

Для улучшения характеристик основного устройства может быть использована схема рис. 17,*а*. Здесь сопротивления резисторов R_2 и R_3 выше, чем их оптимальное значение в предыдущей схеме, однако параллельно к ним подключены конденсаторы C_2 и C_3.

В начале исходного отрицательного импульса разряд устанавливается на подкатоде *ПК1*. Его потенциал повышается по мере заряда емкости C_2 током на подкатод *ПК1*. В какой-то момент, определяемый величиной тока и емкостью C_2, разность потенциалов между *ПК1* и *ПК2* становится достаточной для перехода разряда на *ПК2*. После этого через время, определяемое постоянной времени R_2C_2, первый подкатод готов к новому циклу работы, так как конденсатор C_2 успевает разрядиться. Следует заметить, что ток на *ПК1* в этой схеме ограничивается лишь анодным сопротивлением декатрона, что создает условие для получения оптимальной зоны ионизации вокруг *ПК1*. После окончания исходного отрицательного импульса разряд переходит на *ПК3*, а затем описанным выше способом на следующий индикаторный катод. Диод $Д_1$ здесь предназначен для быстрого восстановления постоянной составляющей напряжения на подкатодах.

Схему на рис. 17,*б* следует признать еще более надежной в указанном выше смысле. В схеме гальванические связи *ПК1* и *ПК3* меняются местами. Благодаря этому, небольшой поджигающий ток, идущий на *ПК1* (который находится под катодным потенциалом) создает благоприятные условия для перехода на него разряда с индикаторного катода. Импульс, приложенный к *ПК2*, через конденсатор C_2 поступает также и на *ПК1*. Однако так как в начальный момент *ПК1* находился под более низким потенциалом, чем *ПК2*, то и после подачи импульса соотношение потенциалов сохраняется. Это дополнительно способствует переходу разряда на *ПК1*.

После заряда конденсатора C_2 разряд переходит на *ПК2*. В процессе горения разряда на *ПК1* и *ПК2* конденсатор C_3 разряжается и потенциал *ПК3* становится отрицательным, приближаясь к потенциалу *ПК2*. После окончания отрицательного импульса потенциал

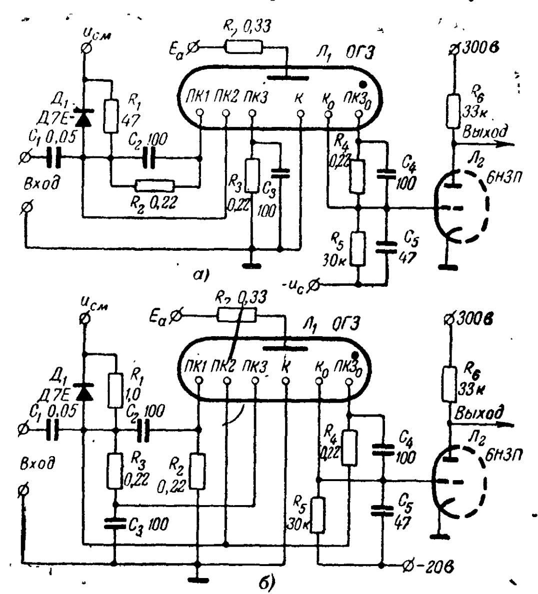


Рис. 17. Усовершенствованные схемы включения одноимпульсных декатронов.

ПК3 сохраняется благодаря его емкостной связи с катодом, что способствует переходу на него разряда с *ПК2*. Перенос разряда с *ПК3* на следующий индикаторный катод происходит обычным способом.

На рис. 18 приведена конкретная схема управления одноимпульсными декатронами, включающая тиратронную схему генерации

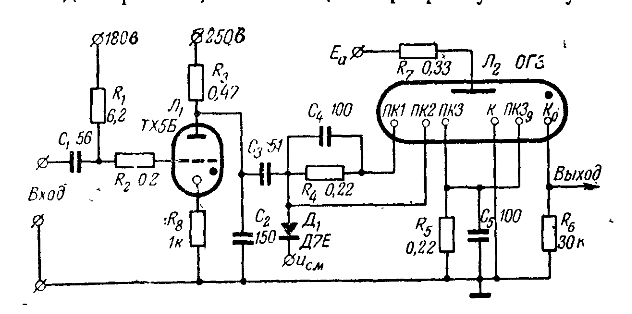


Рис. 18. Схема управления одноимпульсным декатроном.

исходного отрицательного импульса. Номиналы R_3 и C_2 на рис. 18 задают длительность отрицательного импульса, достаточную для работы одноимпульсного декатрона.

При запуске декатронов с направленным катодом можно использовать те же устройства для генерации исходного отрицательного импульса, что и для запуска одноимпульсных декатронов. Никаких дополнительных пассивных формирующих цепей в этом случае не требуется.

УПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ СИГНАЛЫ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ДАТЧИКОВ

Когда декатронный счетчик работает от какого-либо внешнего датчика, например от электросети, механического контакта, счетчика Гейгера-Мюллера, фотодатчика и т. д., то входной сигнал должен быть соответствующим образом преобразован для управления декатроном. Для этой цели служат специальные формирующие схемы, некоторые из которых показаны на рис. 19.

На рис. 19,*а* представлена схема формирования управляющих импульсов при синусоидальном входном сигнале. Для нормальной работы декатрона необходим сдвиг синусоидальных сигналов по фазе на первом и втором подкатодах около 45°. Сдвиг фазы на втором подкатоде по отношению к фазе первого задается цепочкой R_2C_2. Следовательно, при изменении входной частоты емкость C_2

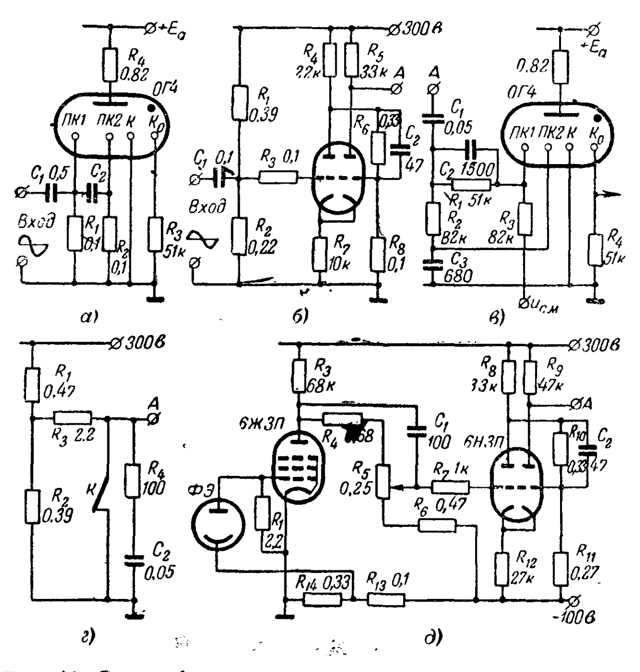


Рис. 19. Схемы формирования управляющих импульсов при использовании различных источников входных сигналов.

фазосдвигающей цепочки R_2C_2 должна изменяться. В табл. 2 приведены данные о необходимой емкости конденсатора C_2 и амплитуды синусоидального сигнала на входе для разных частот.

На рис. 19,*б* показана схема управляющего устройства (работающего от синусоидальной волны), представляющего собой несимметричный триггер. Изменение частоты сигнала не влияет на работу такой схемы.

Таблица 2

Частота счета, *гц* . .	4 000	2 000	1 000	500	200	100	50
Емкость, *пф*	700	2 000	5 000	10 000	20 000	50 000	100 000
Амплитуда, *в* . . .	20—70	15—80	15—95	15—95	15—95	15—95	15—95

На рис. 19,*г* представлена схема для счета числа замыканий механического контакта. В промежутке времени между замыканиями контакта *К* конденсатор C_1 (рис. 19,*в*) заряжается через балластный резистор R_3 до напряжения делителя R_1R_2. В момент замыкания контакта потенциал обкладки конденсатора C_1, связанной с контактом, падает до нуля. На такую же величину падает потенциал другой обкладки конденсатора, создавая управляющий импульс для декатрона. Сопротивление резистора R_3 должно быть подобрано таким, чтобы емкость C_1 успела перезарядиться к следующему замыканию контакта. Цепь R_4C_2 схемы служит для искрогашения.

На рис. 19,*д* показана схема, получающая входные сигналы от фотоэлемента *ФЭ*. Входной сигнал, усиленный пентодом 6Ж3П, подается на несимметричный триггер, вырабатывающий отрицательный управляющий импульс. Точка *А* в схемах на рис. 19,*б*, *г* и *д* является выходной и связана со схемой на рис. 19,*в*, формирующей два сдвинутых во времени отрицательных импульса.

СХЕМЫ ДЛЯ СБРОСА ПОКАЗАНИЙ ДЕКАТРОНОВ НА НУЛЬ

Чтобы произвести правильный отсчет, необходимо установить все разряды декатронного счетчика перед началом работы на нуль, т. е. перевести разряд во всех декатронах на нулевой индикаторный катод. Одна из схем сброса на нуль представлена на рис. 20,*а*. В момент размыкания контакта *К* девять объединенных катодов декатрона приобретают положительный потенциал 100—150 *в* так же, как и оба кольца подкатодов, и разность потенциалов между нулевым катодом и анодом оказывается значительно большей, чем между анодом и остальными катодами и подкатодами. Следствием этого является установление разряда на нулевом катоде, где он и остается после восстановления замкнутого состояния контакта *К*.

Рассмотренная схема сброса является простейшей и широко применяется там, где время сброса декатронов на нуль не лимитирует работы схемы в целом. Однако в некоторых случаях, когда необходим подсчет импульсов без потерь на время сброса, необходимо применять более быстрый сброс.

Схема сброса на рис. 20,*б* использует тиратрон с небольшим сопротивлением резистора R_3 в его катодной цепи. Этот резистор

включается в цепь колец катодов и подкатодов декатрона так же, как и нормально замкнутый контакт схемы сброса на рис. 20,*а*. В момент подачи положительного импульса на сетку тиратрона он зажигается, и конденсатор C_2 разряжается на резистор R_3 с постоянной времени R_3C_2. Положительный экспоненциальный импульс амплитудой около 150 *в*, возникающий на резисторе R_3, поднимает потенциал кольца индикаторных катодов и колец подкатодов, что обусловливает переход разряда на нулевой штырь катода декатрона.

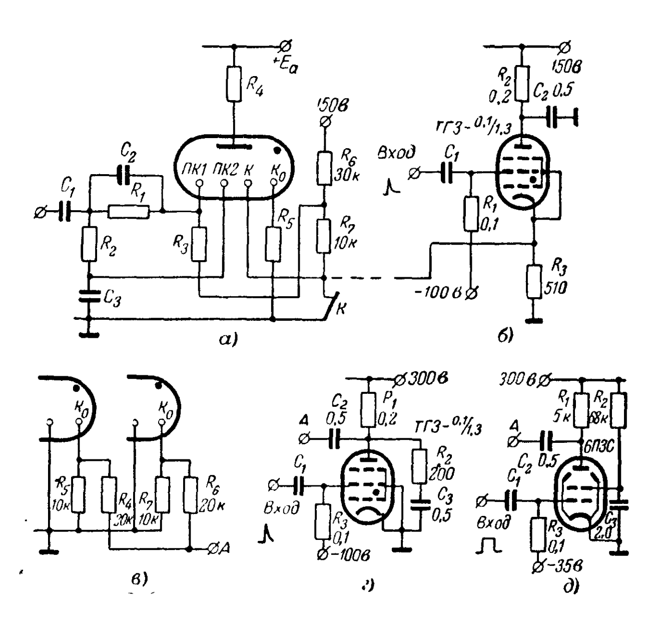


Рис. 20. Схемы сброса показаний декатронов на нуль.

Зажимы *А* в схемах *г* и *д* являются выходными и соединяются с зажимом *А* схемы *в*.

В других схемах сброса (рис. 20,*в*, *г* и *д*) разряд переводится на тот из индикаторных катодов декатрона, который получает отрицательный потенциал по сравнению с остальными. Уверенный сброс разряда с любого катода на выбранный получается при снижении его потенциала на 100—150 *в*.

В момент подачи на управляющую сетку тиратрона (рис. 20,*г*) положительного импульса тиратрон отпирается, и конденсатор C_3 разряжается на резистор R_2 с постоянной времени R_2C_3. Отрицательный импульс, возникающий на катодах декатронов, увеличивает разность потенциалов между ними и анодом, что приводит к переходу разряда на выбранный катод. Резисторы R_4R_6 (рис. 19,*в*) служат для развязки катодов декатронов различных каскадов.

В аналогичной схеме сброса на рис. 20,*д* используется электронная лампа. При подаче на ее сетку сформированного положитель-

ного импульса в анодной цепи лампы возникает отрицательный импульс, который с зажима *А* подается на катоды декатронов.

Напомним, что при выборе величины напряжений сброса в конкретных схемах следует руководствоваться данными табл. 1.

ПИТАНИЕ СХЕМ НА ДЕКАТРОНАХ

Питание декатронных схем складывается из питания анодных цепей декатронов, питания ламп (транзисторов, тиратронов) схем управления и питания цепей смещения.

Если число декатронов в устройстве невелико, то целесообразно применять общий источник напряжения для декатронов и схем управления, используя делители напряжения.

В многоламповой схеме для снижения потребления энергии имеет смысл производить питание декатронов и управляющих схем от раздельных источников питания.

При разработке источников питания следует обратить особое внимание на устранение связей по цепям питания между счетными каскадами. В некоторых случаях для уменьшения колебаний анодного тока декатронов целесообразно стабилизировать анодное питание.

Глава четвертая

МЕТОДЫ СОЕДИНЕНИЯ СЧЕТНЫХ КАСКАДОВ

КАСКАДНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЕКАТРОННЫХ ЯЧЕЕК

Для подсчета большого числа импульсов (больше 10) декатронные ячейки соединяются в каскадные цепочки, причем число ячеек в цепочке определяется требуемой емкостью счетчика. Емкость цепочки, т. е. максимальное число импульсов, которые могут быть сосчитаны, равна $10^n—1$, где n — число декатронных ячеек.

Обычная каскадная схема соединения ячеек представляет собой цепочку из n декад, в которой каждая декада состоит из управляющего устройства и декатрона. Выходной импульс с нулевого катода предыдущего декатрона является входным для последующей декады.

При передаче импульса с декатрона на декатрон в такой схеме возникают неизбежные потери времени. Это видно из следующего примера. Если разряд происходит на девятый катод декатрона, то приход десятого счетного импульса на вход управляющей схемы вызывает последовательный переход разряда на штыри первого и второго подкатодов и лишь затем на штырь нулевого катода (рис. 21).

Таким образом, промежуток времени между началом десятого входного импульса и приходом разряда на нулевой катод декатрона приблизительно равен суммарной длительности управляющих импульсов на подкатодах. Так как импульс на нулевом катоде декатрона одновременно является входным для следующей декады, то это будет означать запаздывание (на суммарную длительность управляющих импульсов) передачи импульса с декатрона на декатрон. В случае соединения нескольких ячеек в цепочку выходной импульс последней декады запаздывает по отношению к входному импульсу

цепочки на время $n\tau$, где τ — суммарная длительность управляющих импульсов каскада, а n — число каскадов в цепочке.

Так как длительность управляющих импульсов невелика и составляет обычно десятки микросекунд, то для большинства практических случаев такие потери времени вполне допустимы. Однако в некоторых случаях, когда требуется большая точность измерения

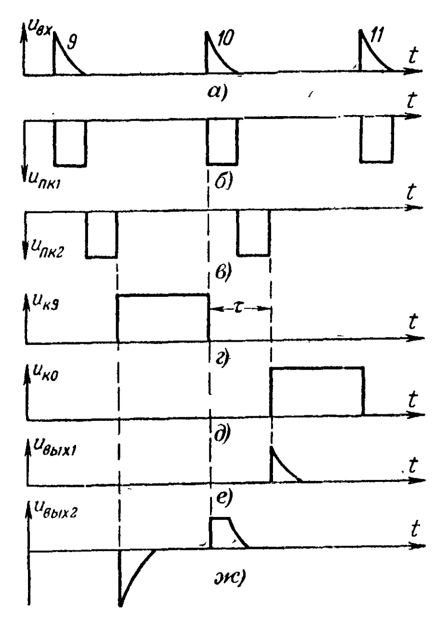


Рис. 21. Напряжение в цепях декатронного каскада.

а — входные импульсы; *б*, *в* — импульсы на первых и вторых подкатодах; *г*, *д* — импульсы в цепи девятого и нулевого катодов; *е* — выходной импульс с первого катода; *ж* — выходной импульс с девятого катода, полученный с помощью трансформатора; τ — время задержки между десятым входным импульсом и импульсом на нулевом катоде.

момента поступления последнего счетного импульса в счетчик, простейшая схема соединения декад (например, рис. 15,*а* и *б*) оказывается неудовлетворительной.

Этот недостаток устраняется в схеме, в которой момент прихода десятого счетного импульса фиксируется по моменту ухода разряда с девятого катода, а не по моменту прихода его на нулевой катод. Если декатрон, например коммутаторный, имеет индивидуальный вывод девятого катода, то этот момент определяется по заднему фронту импульса на нагрузке девятого катода. Потери времени управляющей схемы, реагирующей на задний фронт импульса девятого катода, практически очень малы и составляют около 1 *мксек*.

В качестве простой управляющей схемы, реагирующей на задний фронт импульса катода, может быть использована любая из схем типа ждущего триггера, блокинг-генератора или усилительная схема (рис. 15,*г*) с импульсным трансформатором в цепи девятого катода. В последней достаточно лишь изменить полярность включения вторичной обмотки импульсного трансформатора, чтобы в момент окончания импульса на девятом катоде на сетке управляющей лампы следующей декады появился положительный входной импульс (рис. 21,*ж*). Каскадное соединение декад по такой схеме дает минимальные потери времени всей цепочки при любой длительности управляющих импульсов.

СОЕДИНЕНИЕ ДЕКАТРОННЫХ ЯЧЕЕК ПРИ РЕВЕРСИВНОМ СЧЕТЕ ИМПУЛЬСОВ

Интересным для практики случаем является реверсивный счет импульсов, соответствующий арифметическим операциям сложения и вычитания. Управляющая схема, соединяющая реверсивные каскады, должна реагировать на направление движения разряда предыдущего декатрона. При переходе разряда с девятого катода на нулевой управляющая схема следующего каскада должна генерировать два импульса, обеспечивающих перенос разряда в декатроне в положительном направлении. В случае перехода разряда в направлении от нулевого катода к девятому управляющая схема следующей декады должна сформировать импульсы, переводящие разряд в декатроне в отрицательном направлении.

Управляющие схемы, чувствительные к направлению движения разряда между нулевым и девятым катодами декатрона, довольно сложны, поэтому в настоящее время для получения многокаскадных реверсивных схем используются декатроны с индивидуальными выводами на цоколь штырей первого и второго подкатодов, расположенных между нулевым и девятым катодами. В дальнейшем будем называть эти подкатоды управляющими.

Такой декатрон позволяет получить два выходных импульса, расположение которых во времени зависит от направления движения разряда в декатроне. Для получения импульсов управляющие подкатоды соединяются с кольцами подкатодов через нагрузочные устройства Z_1 и Z_2 (рис. 22,*а*). При переходе разряда от девятого катода к нулевому, или наоборот, на Z_1 и Z_2 возникают импульсы напряжения, обусловленные током разряда на подкатоды. Длительность импульсов равна длительности входных управляющих импульсов, а временной порядок определяется направлением движения разряда в декатроне. Если, например, разряд в декатроне движется от девятого катода к нулевому, то импульс сначала возникает на первом управляющем подкатоде, а затем на втором. Обратное движение разряда дает обратную последовательность импульсов на управляющих подкатодах.

Если Z_1 и Z_2 соединить со входами двух управляющих схем, отдельно связанных с кольцами первых и вторых подкатодов следующего декатрона, то порядок возникновения управляющих импульсов на следующем декатроне будет определяться направлением движения разряда в предыдущем декатроне.

Аналогично производится и соединение в цепочку нескольких каскадов.

На рис. 22,б представлена схема согласования реверсивных каскадов с помощью трансформаторов. Число витков обмоток трансформатора выбирается с таким расчетом, чтобы импульсы, возникающие в цепи управляющих подкатодов, передавались на сетку управляющей лампы с небольшими искажениями. Поэтому в качестве материала сердечника должен быть использован высокочастотный материал, например оксифер.

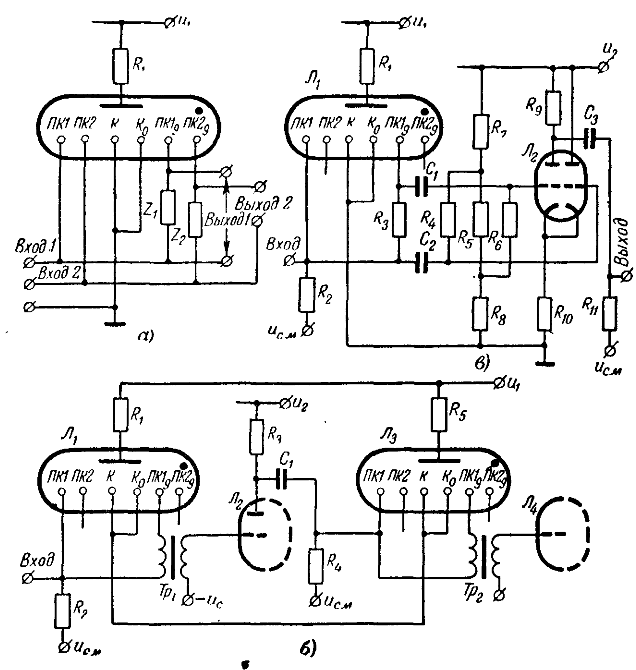


Рис. 22. Схемы управления для реверсивных декатронов, имеющих выводы подкатодов, расположенных между нулевым и девятым индикаторными катодами.

При работе с импульсами большой длительности лучшие результаты могут быть достигнуты применением ламповых схем с реостатно-емкостными связями. Входные импульсы для них снимаются с резисторов, используемых в качестве нагрузочных элементов Z_1 и Z_2.

На рис. 22,в показана одна из таких схем. Режим лампы $Л_2$ подобран так, что если обе ее сетки находятся под одинаковым потенциалом, то ток течет через ее правую половину, а левая ее половина заперта. Управляющие импульсы на первых подкатодах не приводят к изменению режима лампы, если только разряд не устанавливается на девятом штыре первого подкатода. В последнем случае благодаря возникновению напряжения на резисторе R_3 левая половина лампы $Л_2$ начнет проводить, и отрицательный импульс

с резистора R_9 через конденсатор C_3 поступит на шину первых подкатодов следующего декатрона.

В схемах рис. 22,*б* и *в* управляющие цепи, соединенные со вторыми подкатодами, одинаковы с описанными и поэтому не показаны.

Глава пятая

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕКАТРОНОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ЗАДАННОГО ЧИСЛА ИМПУЛЬСОВ В ДЕКАТРОННОМ СЧЕТЧИКЕ

При использовании счетчиков часто возникает потребность получить выходной сигнал после поступления на вход заданного числа импульсов. Такие задачи могут иметь место, например, при расфасовке каких-либо изделий или же при отсчете заданных отрезков времени.

О получении декатронным счетчиком заданного числа импульсов можно судить визуально (по положению светящихся катодов декатрона) и электрически (по напряжению в соответствующей катодной цепи коммутаторного декатрона). Последний способ более приемлем в случае, если скорости работы счетчика велики и установка работает без участия человека, т. е. автоматически. Имеется несколько методов получения электрического сигнала с многокаскадной декатронной схемы в момент поступления на ее вход заданного числа импульсов.

На рис. 23 приведена схема трехкаскадного счетчика, использующая так называемую схему совпадений на диодах для регистрации заданного числа входных импульсов. Сигнал на выходе схемы совпадений появляется только в том случае, когда одновременно ко всем диодам будут приложены запирающие напряжения. Пусть диод $Д_1$ подключен к пятому катоду декатрона $Л_1$, считающего единицы, диод $Д_2$ — к третьему катоду декатрона $Л_2$, считающего десятки, и диод $Д_3$ — к девятому катоду декатрона $Л_3$, считающего сотни входных импульсов.

Перед началом работы, когда разряды в декатронах установлены на нулевых катодах, все диоды отперты и напряжение на выходной точке схемы совпадений мало. Когда же разряд в декатроне переносится на катод, к которому подключен диод схемы совпадений, то последний запирается, так как питание схемы совпадений осуществляется от источника напряжением +10 *в*, а напряжение на катодной нагрузке «горящего» катода равно +15 *в*.

Запирание одного или двух диодов схемы совпадений, однако, не вызывает существенного изменения напряжения на ее выходе, и только в момент, когда все три диода запираются, на выходе схемы совпадений возникает напряжение +10 *в*, которое может регистрироваться дальнейшими устройствами. В данном примере выходной импульс схемы совпадений возникает в момент прихода 935-го импульса на вход счетчика.

Для удовлетворительной работы схемы диоды должны обладать малым прямым и большим обратным сопротивлениями. Следовательно, целесообразно использовать для схем совпадений кремние-

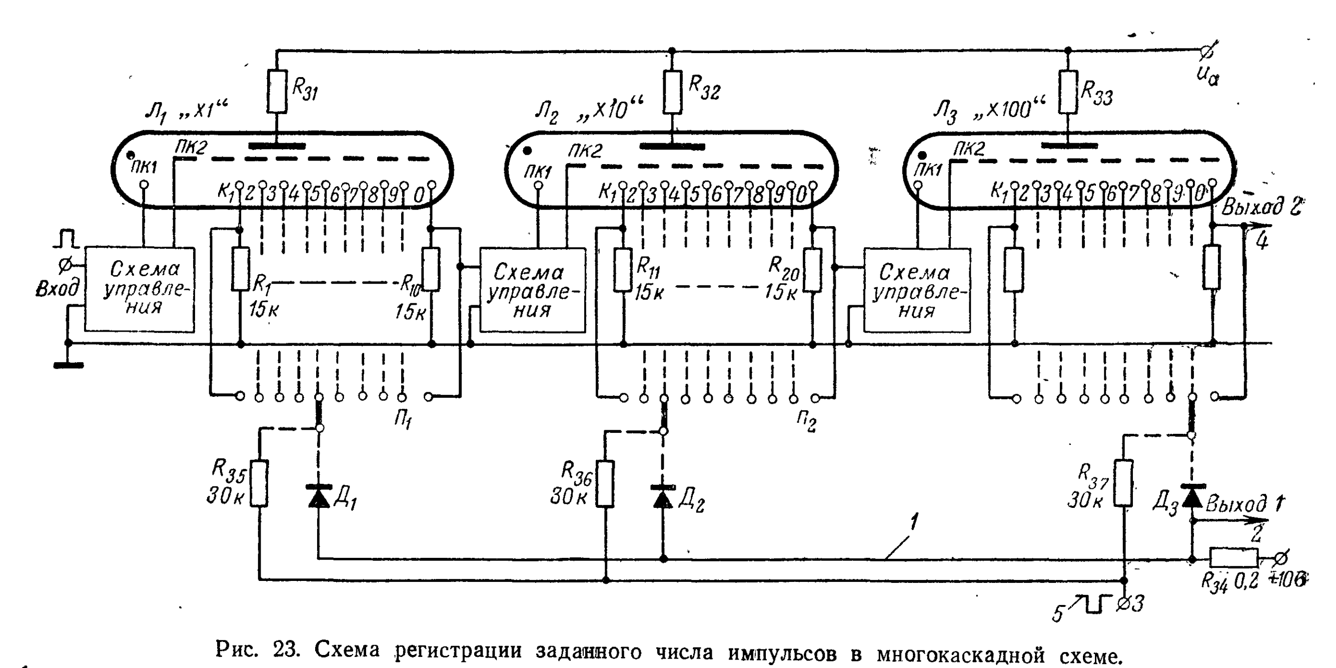


Рис. 23. Схема регистрации заданного числа импульсов в многокаскадной схеме.

1 — схема совпадений на диодах; *2* — выходная точка схемы совпадений; *3* — точка приложения импульса сброса на дополнительное число; *4* — выходная точка при использовании сброса на дополнительное число; *5* — импульс сброса.

вые или германиевые диоды, обладающие нужными характеристиками.

Приведенная на рис. 23 схема удобна тем, что она допускает возможность присоединения к счетчику еще одной или нескольких схем совпадений, настроенных на другие числа. Взаимных помех в таком устройстве наблюдаться не будет.

Если необходима настройка только на одно число, то может быть применена схема регистрации заданного числа импульсов, в которой используется сброс счетчика перед началом работы на число, дополнительное к заданному. В десятичной системе счисления под дополнительным понимается число, определяемое выражением $D=10^n-N$, где D — дополнительное число, n — число цифровых разрядов данного числа, N — заданное число. При этом счетчик начнет считать не с нуля, а с дополнительного числа. В момент прихода на вход счетчика последнего импульса заданного числа на нулевом катоде выходного декатрона каскадной схемы возникнет импульс. Если, например, перед началом работы произведен сброс трехкаскадного счетчика на цифру 935, то выходной импульс на нулевом катоде последнего декатрона возникает после прихода на вход 65 импульсов.

Рассмотренные схемы регистрации заданного числа не являются единственными, однако все другие схемы такого же назначения основаны на тех же принципах.

В зависимости от вида требуемого выходного сигнала импульс с регистратора заданного числа должен быть преобразован. При сортировке деталей по партиям, например, требуется после набора нужного числа деталей остановить их поток. Чаще всего это достигается коммутацией контактов в силовой электрической цепи. Для управления исполнительным устройством можно использовать одноламповый усилитель с электромагнитным реле в анодной цепи. Если нужно заставить сработать мощное реле, то к выходу усилительной лампы подсоединяется тиратрон, в анодную цепь которого включается соответствующее реле.

Регистраторы заданного числа легко превращаются в генераторы отрезков времени заданной длительности. Для такого превращения достаточно подавать на вход регистратора импульсы с известной стабилизированной частотой. Тогда установленное на регистраторе с помощью переключателей число импульсов будет соответствовать вполне определенному интервалу времени $T=n/f$, где n — число, установленное на переключателях, а f — частота следования импульсов на входе. Такие схемы чаще всего используются для точного задания временны́х процессов.

ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

В измерительной практике часто возникает необходимость в делителях частоты. К приборам, использующим делители частоты, относятся схемы стандартов частоты с несколькими частотами на выходе, схемы генерации меток времени для осциллографов и схемы синхронизации на кратных частотах. Как известно, высокостабильные частоты могут быть получены только при использовании кварцевых генераторов, нижний порог частоты которых составляет несколько килогерц, поэтому получение стабилизированных низких частот также невозможно без применения делителей частоты.

Простые делители частоты собираются из декатронных ячеек, как это было описано выше. Такие схемы позволяют получать коэффициенты деления частоты, кратные 10. Общий коэффициент деления частоты цепочки, составленной из декатронных ячеек, равен 10^n, где n — число ячеек. Однако иногда необходим коэффициент деления, равный какому-либо другому числу. Применение коммутаторного декатрона позволяет получить простыми средствами коэффициенты деления, отличные от 10. На рис. 24 представлены схемы на декатронах с коэффициентом деления 2 и 5.

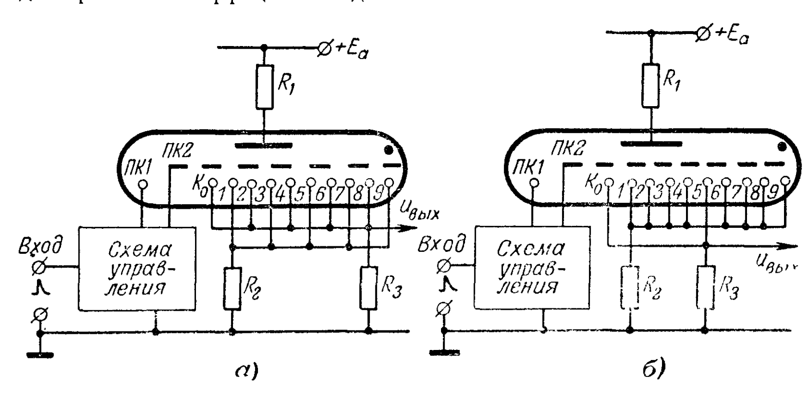


Рис. 24. Схемы деления частоты на 2 и 5 с помощью коммутаторного декатрона.

Для получения коэффициента деления 2 (рис. 24,*а*) катодный резистор R_3 делается общим для катодов 0, 2, 4, 6 и 8. При этом ток разряда будет проходить через резистор R_3 после прихода второго, четвертого, шестого, восьмого, десятого, двенадцатого и т. д. входных импульсов, что соответствует делению входной частоты на 2.

Для деления частоты на 5 (рис. 24,*б*) выходной резистор R_3 декатрона делается общим для катодов 0 и 5. Ток через резистор R_3 в этом случае будет проходить после поступления на вход схемы первого, пятого, десятого, пятнадцатого и т. д. импульсов. Следовательно, напряжение на резисторе R_3 будет иметь частоту, в 5 раз более низкую, чем входная.

С помощью коммутаторного декатрона можно получить не только коэффициенты деления 10, 5 и 2, но и некоторые другие. Коэффициент деления, равный, например, 3/10, получается при включении общей нагрузки в цепь катодов 0, 3 и 6, а коэффициент деления 4/10 — при включении ее в цепи катодов *0*, *2*, *5* и *7*. Понятно, что интервалы времени между выходными импульсами в двух последних случаях не будут равными (в случае равномерной последовательности импульсов на входе), но часто это и не требуется. Еще большее число значений коэффициентов деления можно получить при использовании коммутаторного декатрона с числом индикаторных катодов, не равным 10. Известны, например, коммутаторные декатроны с 12 катодами, дающие коэффициенты деления 3, 4, 6, 12 и т. д.

ГЕНЕРАТОР СЕТКИ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

При использовании электронных и шлейфовых осциллографов часто возникает необходимость в получении сетки времени для точного определения временных параметров процессов. Если длительные процессы должны измеряться с большой точностью, то масштабная сетка временных отметок должна иметь несколько значений.

На рис. 25 приведена одна из схем, предназначенных для работы со шлейфовым осциллографом. Задающий генератор с кварцевой стабилизацией, собранный на левом (по схеме) триоде лампы $Л_1$, работает на частоте 1 *кгц*. Второй триод этой лампы используется в качестве формирователя входных импульсов для управляющей схемы декатрона.

В качестве делителя частоты применена трехкаскадная схема на декатронах, генерирующая выходные импульсы с частотами 100, 10 и 1 *гц*.

Декадные ячейки собраны по схеме с реостатно-емкостной связью. В цепь катодов декатрона $Л_2$ и лампы $Л_1$ последовательно включены резисторы с небольшим сопротивлением R_{11} и R_6. Генерируемое на выходной точке этих резисторов напряжение подается на сетку левого (по схеме) триода лампы $Л_5$ усилителя, в выходную цепь которого включен шлейф — отметчик осциллографа. Напряжение на сетке этого триода будет иметь вид последовательности импульсов с частотой 1 000 *гц*, каждый десятый из которых имеет повышенную амплитуду. Увеличение амплитуды десятого импульса обусловлено возникновением разряда на нулевом катоде декатрона $Л_2$, приводящим к повышению напряжения на цепочке R_6R_{11}.

Для создания меток частоты 10 и 1 *гц* используется выходное напряжение декатронов $Л_4$ и $Л_6$, подаваемое с последовательно включенных резисторов R_{20} и R_{34} через разделительный конденсатор C_{16} на сетку правого триода лампы $Л_5$. Напряжение здесь имеет вид последовательности импульсов с частотой 10 *гц*, причем каждый десятый из них (секундный) имеет повышенную амплитуду.

Изменение тока, обусловленное положительными импульсами на сетках лампы $Л_5$, создает в шлейфах импульсы тока разного направления. Благодаря этому масштабная временна́я сетка на экране или пленке шлейфового осциллографа имеет удобный вид. Отметки времени 0,001 и 0,01 *сек* представляют собой положительные, а отметки 0,1 и 1 *сек* отрицательные импульсы.

Для правильной ориентировки во времени перед началом осциллографирования декатроны устанавливаются на нуль. В момент начала осциллографируемого процесса контакт K размыкается, и на сетку управляющей лампы $Л_1$ начинают поступать входные импульсы с частотой 1 000 *гц*.

Описанная схема при добавлении декатронных делителей частоты может быть использована для получения более низкочастотных меток времени. Без существенных изменений эта же схема приспосабливается для работы с электронным осциллографом.

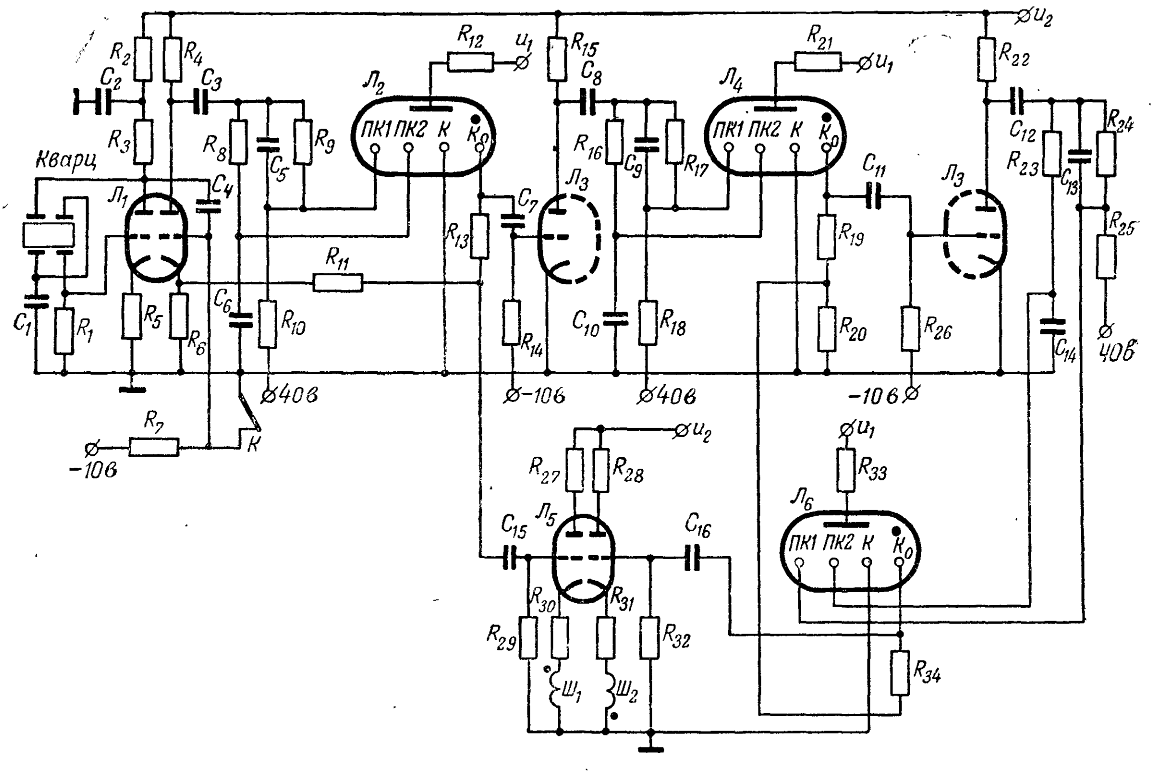


Рис. 25. Схема четырехмасштабного отметчика времени для шлейфовых осциллографов.

СТАНДАРТЫ ЧАСТОТЫ И ПРИВОД СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Несколько отличны требования к делителям частоты, используемым для привода низкочастотных синхронных электродвигателей, или в некоторых стандартах частоты, где выходное напряжение должно быть близким к синусоидальному.

Из узких (скважность порядка 10) выходных импульсов декатрона затруднительно выделить гармонику основной частоты. Поэтому если на выходе необходимо иметь синусоидальное напряжение,

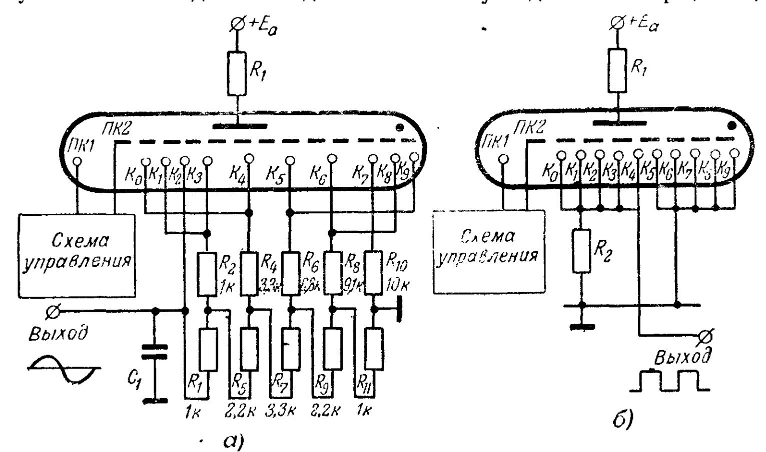


Рис. 26. Схемы включения катодной нагрузки декатрона.

а — для придания выходным колебаниям синусоидального вида; *б* — для получения на выходе прямоугольных колебаний.

то можно в качестве выходного устройства использовать мультивибратор, синхронизируемый декатроном, или триггер с двумя устойчивыми положениями, также запускаемый декатроном.

В качестве выходного устройства может быть использован и коммутаторный декатрон с резисторами в катодных цепях по схеме рис. 26,*а*. Ступенчатое напряжение, снимаемое с выходной точки схемы, близко по форме к синусоидальному и может быть использовано без дальнейших формирующих устройств. Для сглаживания выходного напряжения к выходной точке подключается конденсатор.

Выходное напряжение (рис. 26,*б*) благодаря объединению индикаторных катодов в две группы по пять штук (K_0—K_5 и K_5—K_9) имеет скважность 1.

В используемых для подобных целей делителях частоты, так же как и в стандартах частоты, по понятым причинам нет необходимости применять сброс на нуль перед началом работы.

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ СЧЕТЧИКОВ ИМПУЛЬСОВ

Любой декатронный счетчик может быть использован для измерения отрезков времени. Он может задаваться замкнутым состоянием механического контакта, открытым состоянием электронной

лампы и т. д. Если контакт или электронная лампа установлены между счетчиком и источником импульсов со стабилизированной частотой, то импульсы смогут проходить в счетчик только в промежуток времени, соответствующий проводящему состоянию используемого элемента. Следовательно, по числу зафиксированных в счетчике импульсов можно будет судить об измеряемом интервале времени.

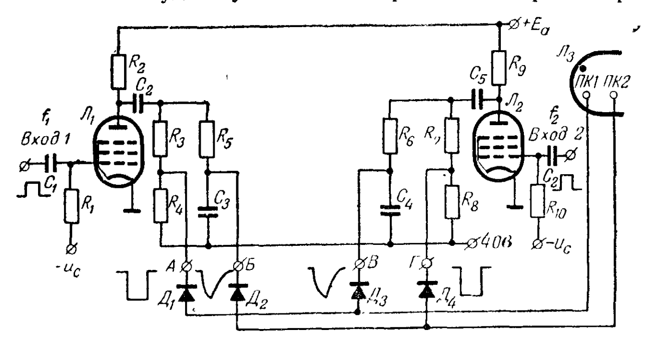


Рис. 27. Схема одновременного реверсивного счета двух последовательностей импульсов.

Разрешающая способность такого счетчика определится подаваемой на его вход частотой. Например, для частоты 10 000 *гц* минимальное измеренное время не может быть меньше 0,0001 *сек*.

Задача программного управления положением инструмента, скоростью вращения электродвигателя и т. д. состоит, как правило, в сравнении фактической скорости или положения с заданным. Рассогласование обеих величин преобразуется сравнивающим устройством в управляющий сигнал, который воздействует на органы регулирования управляемого объекта. Если программа и сигнал о состоянии управляемого объекта представляют собой последовательность электрических импульсов, распределенных во времени, то в качестве сравнивающего устройства используются реверсивные электронные счетчики.

Ниже описана схема реверсивного счетчика на декатроне, сравнивающая две непрерывные последовательности импульсов одновременно (рис. 27). Ее выходной сигнал пропорционален рассогласованию между последовательностями импульсов. Сравнивающее устройство состоит из двух управляющих устройств на лампах $Л_1$ и $Л_2$ и двухимпульсного реверсивного декатрона $Л_3$. Выходные точки обоих управляющих устройств подключены к кольцам подкатодов через диоды $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ и $Д_4$.

Из схемы на рис. 27 видно, что при подаче входных импульсов только на *Вход 1* разрядное свечение в декатроне будет перемещаться в одну сторону, например по часовой стрелке. Подача входных импульсов только на *Вход 2* будет вызывать перемещение разрядного свечения в противоположном направлении. В случае одновременной подачи управляющих импульсов от разных источников на оба входа направление и скорость перемещения разрядного свечения будут зависеть от соотношения частот обоих источников. Условием правильной работы декатрона в таком режиме является идентич-

ность пассивных формирующих цепей R_3R_4 с R_7R_8 и R_5C_3 с R_6C_4, а также одинаковая длительность и амплитуда импульсов на входах.

Для понимания процессов переноса разряда при работе декатрона от двух управляющих схем рассмотрим три возможных случая.

1. Частота следования импульсов на обоих входах одинакова, но они смещены друг относительно друга на время, большее, чем суммарная длительность управляющих импульсов.

В этом режиме каждый импульс на *Входе 1* вызывает перенос разряда в одном направлении, а следующий за ним по времени импульс на *Входе 2* вызывает обратный перенос разряда. Таким образом, разрядное свечение сохраняет свое положение, что соответствует равенству входных частот.

2. Частота следования импульсов на обоих входах одинакова, и импульсы появляются на них одновременно.

Управляющие импульсы появляются на обоих кольцах подкатодов одновременно, что вызывает переход разряда на один из подкатодов, расположенных справа и слева от светящегося индикаторного катода, или на оба подкатода одновременно. После окончания импульсов, сформированных активными цепями R_3R_4 и R_7R_8, на кольцах одновременно возникают импульсы, сформированные интегрирующими цепями R_5C_3 и R_6C_4. Потенциалы колец при этом продолжают оставаться одинаковыми, так что никакого нового перехода разряда не происходит. После окончания управляющих импульсов на интегрирующих цепях разряд переходит на индикаторный катод, ближайший к светящемуся, т. е. на исходный. И в этом случае разрядное свечение сохраняет свое положение, соответствующее равенству входных частот.

3. Входной импульс на *Входе 2* появляется позже, нежели на *Входе 1*, но в момент, когда на *Входе 1* импульс еще не кончился.

Вначале разряд переносится на подкатод кольца *ПК1*. После окончания прямоугольного импульса на кольце *ПК1* его потенциал не возвращается к исходному, а становится равным потенциалу интегрированного импульса, поступающего из цепи R_6C_4. Если все же разряд перейдет на подкатод кольца *ПК2* вследствие того, что на нем в это время поддерживается потенциал прямоугольного импульса цепи R_7R_8, то после его окончания разряд вернется на светившийся ранее подкатод кольца *ПК1*. После окончания управляющих импульсов разряд установится на исходном катоде.

Было подтверждено экспериментально, что даже при очень небольшом различии входных частот декатрон работает без ошибок при условии, что импульсы обеих управляющих систем идентичны.

Нужно отметить, что та же схема может с успехом осуществлять не только вычитание, но и сложение двух последовательностей импульсов при соответствующем переключении отводов *А*, *Б*, *В* и *Г* управляющих схем на лампах $Л_1$ и $Л_2$. В этом случае, правда, одновременное появление импульсов на двух входах приводит к передвижению разряда только на следующий катод. Для обхода этой трудности необходимо вводить задержку между входными импульсами.

При управлении каким-либо обектом программная последовательность импульсов подается на *Вход 1*, а последовательность импульсов, соответствующая фактическому состоянию объекта, на *Вход 2* (или наоборот). Выходной сигнал, воздействующий на органы регулирования объекта, снимается с катодной нагрузки декатрона $Л_3$ и может иметь два вида. В первом случае при рассогла-

совании входных последовательностей импульсов разряд покидает нулевой катод и устанавливается на катоде *1* или *9* декатрона, в зависимости от знака рассогласования. Сигнал для регулятора объекта определяется в такой схеме только направлением перехода разряда. Во втором случае выходной сигнал сравнивающего устройства зависит не только от знака рассогласования, но и от его величины.

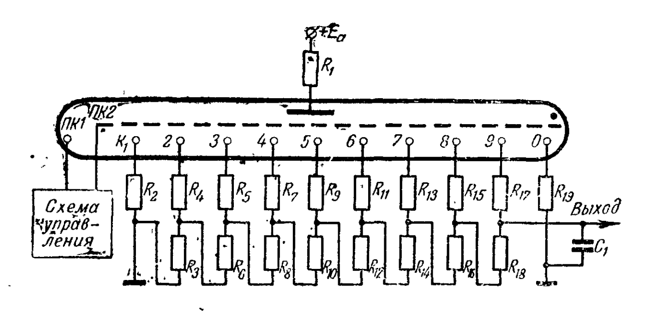


Рис. 28. Схема для регистрации величины рассогласования.

На рис. 28 изображена схема сравнения, напряжение на выходной точке которой зависит от положения разряда в декатроне. Оно наибольшее, когда разряд устанавливается на катоде *9*, и уменьшается при переходе разряда на катоды *8*, *7* и последующие катоды.

Описанная декатронная схема реверсивного счета (рис. 27) может быть использована для генерации высокостабильных низкочастотных колебаний с частотой $F=(f_1-f_2)/10$, где f_1 и f_2 — входные частоты. Так, например, для получения диапазона частот 48—52 *гц* для контроля промышленной сети можно воспользоваться кварцевым генератором с частотой на 5 350 *гц* (f_1) и высокостабильным (0,25%) *RC* генератором с диапазоном частот 150—550 *гц* (f_2). Полученные на выходе реверсивного каскада импульсы с частотой 520—480 *гц* делятся еще одним декатронным каскадом. Выходные колебания декады имеют диапазон частот 52—48 *гц* при стабильности около 0,025%. Придание выходным колебаниям декады синусоидальной или прямоугольной формы производится с помощью включения резисторов соответствующего сопротивления в цепь катодов оконечного декатрона (см. рис. 26). Так как колебания на выходе декатрона имеют ступенчатый вид, для сглаживания кривой целесообразно подключить к выходу конденсатор емкостью порядка 0,05 *мкф*.

ГЕНЕРАТОР ТОЧНОЙ СТУПЕНЧАТО ИЗМЕНЯЕМОЙ ЧАСТОТЫ

Описываемое ниже устройство дает возможность получать колебания звуковой и инфразвуковой частот при сохранении в любой точке всего диапазона высокой стабильности генерируемых колебаний.

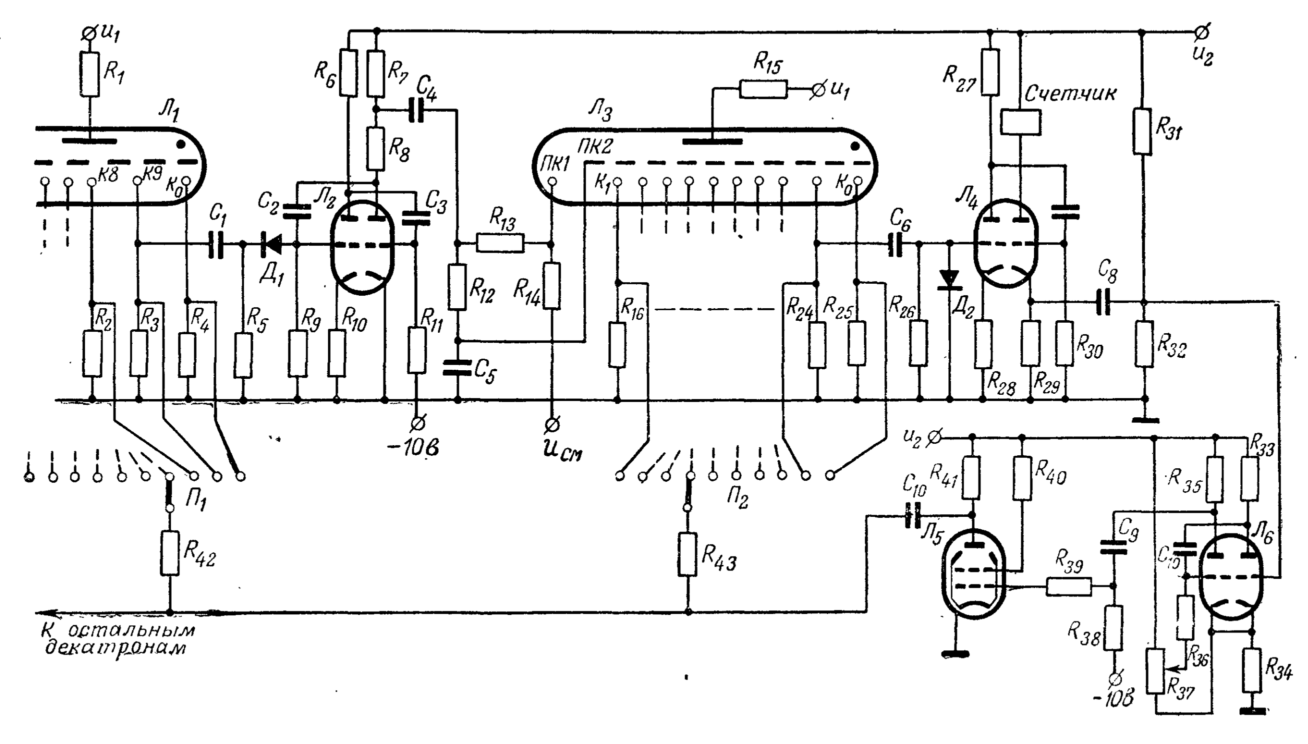


Рис. 29. Схема генератора со ступенчато изменяемой частотой. На рисунке не показаны первые четыре декады, аналогичные декаде на лампах $Л_2$ и $Л_3$, и задающий кварцевый генератор.

На рис. 29 приведена часть схемы этого устройства. Генератор собран на пяти каскадах коммутаторных декатронов, соединенных последовательно. На первый каскад цепочки подаются импульсы с частотой 10 000 *гц* от кварцевого генератора. Для исключения потерь времени при передаче импульсов в последующие каскады выходные импульсы снимаются с девятых индикаторных катодов декатронов. Они дифференцируются (цепочка C_1R_5), и отрицательный всплеск продифференцированного импульса подается на несимметричный триггер с лампой $Л_2$, генерирующий импульс длительностью около 50 *мксек*. Импульс подается через формирующие цепи на подкатоды следующего декатрона. Для получения максимальной скорости работы управляющая схема первого декатрона собрана на двух несимметричных триггерах, запускаемых последовательно.

Выходной импульс последнего декатрона, возникающий при переходе разряда с девятого катода на нулевой, соответствует переходу всего декатронного счетчика с числа 99 999 на 00 000. Этот импульс поступает на вход электронной схемы, сбрасывающей разряды в декатронах на выбранные катоды.

Схема генератора сбрасывающего импульса собрана на лампах $Л_4$, $Л_5$ и $Л_6$. Отрицательный всплеск продифференцированного выходного импульса декатрона $Л_3$ усиливается, переворачивается по фазе и передается на катодный повторитель, собранный на правом (по схеме) триоде лампы $Л_4$. Усиленные по мощности импульсы подаются на триггер с лампой $Л_6$, который вырабатывает прямоугольный импульс длительностью порядка 60—80 *мксек*. Импульс триггера подводится к сетке нормально запертого лучевого тетрода $Л_5$, который усиливает его по мощности. С тетрода импульс сброса, имеющий амплитуду около 250 *в*, подводится через развязывающие резисторы (R_{42}, R_{43} и т. д.) к выбранным с помощью щеточных переключателей ($П_1$, $П_2$ и т. д.) катодам пяти декатронов.

Длительность импульса сброса выбирается достаточно короткой, чтобы сброшенная схема могла быть готовой для подсчета входного импульса, следующего вслед за импульсом, вызвавшим сброс, и достаточно большой для установления разряда на выбранный катод. Если, например, переключатели установлены на число 99 877, то каждый раз после поступления на вход 123 импульсов происходит сброс, и схема начинает считать следующую серию из 123 импульсов. В случае подачи на вход импульсов со стабильной частотой выходные импульсы устройства, получаемые, например, с катодного повторителя на лампе $Л_4$, будут иметь частоту $F=f_c/(10\,000-n)$, где f_c — стабильная частота, а n — любое целое число, устанавливаемое переключателями. На этом основано получение ступенчато изменяемой точной частоты.

Из формулы $F=f_c/(10\,000-n)$ видно, что частота дискретных частотных точек выше при малых значениях n и ниже при значениях n, близких к 10 000. Поэтому более выгодно использовать генератор для работы на низких частотах.

Рассмотренная схема может быть использована для подсчета серий импульсов. С этой целью в анодную цепь лампы катодного повторителя включается электромеханический счетчик, который подсчитывает число серий импульсов с количеством импульсов в серии, заданным в счетчике. На вход счетчика подводятся импульсы, подлежащие счету. Их частота следования не должна превышать скорости работы первого декатрона.

ДЕКАТРОННЫЙ ЧАСТОТОМЕР-ФАЗОМЕТР

Повышение требований к точности частотомеров и фазометров привело в последнее время к созданию приборов, основанных на счете импульсов. Однако цифровые частотомеры и фазометры, построенные на вакуумных лампах, довольно сложны и громоздки. Поэтому там, где измеряемые частоты не превосходят нескольких килогерц или где измеряется разность фаз между двумя колебаниями низкой частоты, использование декатронов приводит к резкому упрощению аппаратуры. На рис. 30 представлена блок-схема частотомера-фазометра на декатронах, а на рис. 31 — схема его управляющего устройства.

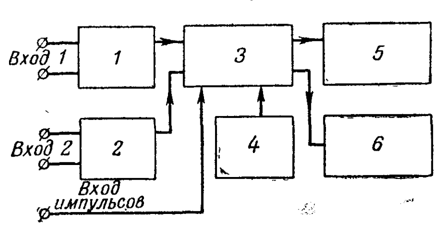


Рис. 30. Блок-схема низкочастотного частотомера-фазометра.

1 — усилитель постоянного тока первого канала; *2* — усилитель постоянного тока второго канала; *3* — управляющее устройство; *4* — кварцевый генератор; *5* — пятикаскадный декатронный регистратор заданного числа; *6* — пятикаскадный декатронный счетчик импульсов.

В частотомере-фазометре, как это видно из блок-схемы, используется пятикаскадный счетчик на счетных декатронах, пятикаскадный регистратор заданного числа, аналогичный по схеме устройству на рис. 29 (без блока сброса), управляющее устройство, усилители постоянного тока и кварцевый генератор с частотой 10 000 *гц*.

С помощью декатронного частотомера-фазометра, собранного по указанной на рис. 30 схеме, можно производить следующие измерения:

1. Определять разность фаз двух низкочастотных напряжений. Для этого первое исследуемое напряжение подключается на *Вход 1*, а второе — на *Вход 2* (рис. 30). Первое исследуемое напряжение усиливается усилителем и поступает в управляющее устройство, которое в момент прохождения фазы колебания через нуль подключает кварцевый генератор к счетчику импульсов. В момент прохождения через нуль фазы второго колебания, усиленного усилителем, управляющее устройство отключает кварцевый генератор от счетчика. Таким образом, по числу импульсов, зафиксированных счетчиком, можно определить разность фаз.

2. Измерять период низкочастотных колебаний. При этом оба входа соединяются параллельно. Управляющее устройство подключает кварцевый генератор к счетчику в момент прохождения фазы колебаний через нуль и отключает в момент прохождения фазы через 360°.

3. Измерять отрезок времени между двумя электрическими импульсами (подаются на *Вход импульсов*). Управляющее устройство подключает кварцевый генератор к счетчику в момент прихода первого импульса и отключает в момент прихода второго импульса.

4. Измерять период низкочастотных колебаний с повышенной точностью, используя регистратор заданного числа. Управляющее устройство при этих измерениях подключает кварцевый генератор к счетчику в момент прохождения фазы низкочастотного колебания через нуль и отключает генератор после регистрации заданного числа

4—275

Рис. 31. Схема управляющего устройства низкочастотного частотомера-фазометра.

периодов измеряемых колебаний. Увеличение точности достигается за счет увеличения интервалов измерений.

Эта же комбинация дает возможность измерять период достаточно высокочастотных колебаний (до 10 *кгц*), подавая на вход счетчика импульсы исследуемой частоты, а на вход регистратора заданного числа частоту 10 *кгц*. Тогда число импульсов за период времени, задаваемый регистратором, позволяет судить об исследуемых высокочастотных колебаниях.

Работа управляющего устройства (рис. 31) протекает следующим образом.

До нажатия кнопки *Кн* (измерение) блок находится в исходном состоянии. Левый (по схеме) триод лампы $Л_5$ в первом симметричном триггере при этом открыт, а правый закрыт. Неоновая лампа $Л_4$ не горит. Во втором симметричном триггере левый триод лампы $Л_7$ тоже открыт, а правый закрыт. Правый триод лампы $Л_6$ в это время открыт и, шунтируя своим малым внутренним сопротивлением резистор R_{21} в сеточной цепи правой половины первого триггера, делает его нечувствительным к импульсам, поступающим с обоих каналов (*Вход 1* и *Выход 2*). Пусковая схема с лампой $Л_{11}$, представляющая собой несимметричный триггер, находится в состоянии устойчивого равновесия; правый триод этой лампы открыт, а левый закрыт.

Конденсатор C_{19} полностью разряжен и замкнут накоротко кнопкой пуска *Кн*.

При нажатии кнопки *Кн* по цепи $R_{45}R_{50}C_{19}$ проходит ток заряда конденсатора C_{19}. Импульс напряжения на резисторе R_{45} запускает триггер на лампе $Л_{11}$. Задний фронт импульса на аноде правого триода лампы $Л_{11}$ переводит второй триггер в новое состояние равновесия. В результате этого правый триод лампы $Л_6$ запирается, и первый триггер становится чувствительным к импульсам первого канала (но продолжает оставаться нечувствительным к импульсам второго канала). Теперь блок отсечки временно́го интервала ($Л_5$) подготовлен к работе, о чем сигнализирует свечение неоновой лампы $Л_8$ (*Подготовка*), загорающейся при «опрокидывании» второго триггера.

В случае измерения разности фаз на входы первого и второго каналов прибора подаются два синусоидальных колебания с некоторым фазовым сдвигом между ними. Амплитуды напряжений могут быть различными. Усиленное усилителем постоянного тока *1* (см. рис. 30) напряжение первого канала подается на индикатор нуля, представляющий собой несимметричный триггер, собранный на лампе $Л_2$. Усилитель настраивается таким образом, чтобы при переходе входного напряжения через нуль напряжение на выходе становилось равным напряжению срабатывания несимметричного триггера. При его срабатывании загорается неоновая лампа $Л_1$ (индикатор нуля *Вход 1*).

Напряжение, получаемое на аноде правого триода триггера, дифференцируется с помощью цепочки C_1R_9 и подается на сетку лампы усилителя импульсов первого канала (левый триод нормально запертой лампы $Л_3$). Положительные импульсы усиливаются и подаются через конденсатор C_5 на блок отсечки временного интервала (лампа $Л_5$).

Работа второго канала (лампа $Л_{10}$ и правый триод лампы $Л_3$) происходит точно так же, как и первого канала. При положении *Фаза* переключателя *П* импульсы с правого триода лампы $Л_3$ через конденсатор C_6 попадают в блок отсечки времени.

Блок отсечки временно́го интервала работает следующим образом. От первого импульса первого канала триггер на лампе $Л_5$ опрокидывается, в результате чего открывается левый триод лампы $Л_6$, и на счетчик от источника импульсов $ИИ_2$ начинают поступать импульсы. В это же время загорается неоновая лампа $Л_4$ (*Измерение*).

Пока первый триггер находится в опрокинутом состоянии, он чувствителен к импульсам, поступающим из второго канала, и не чувствителен к импульсам из первого канала. Поэтому он возвращается в исходное состояние, когда через время Δt приходит импульс из второго канала. При этом запирается левый триод лампы $Л_6$, гаснет неоновая лампа $Л_4$, и импульсы перестают поступать в счетчик. Через конденсатор C_{10} на второй триггер подается отрицательный импульс, возвращающий его в исходное состояние. Правый триод лампы $Л_6$ открывается и, шунтируя первый триггер, делает его нечувствительным к импульсам от первого и второго каналов. Управляющее устройство приходит в исходное состояние.

При измерении периода низкочастотных колебаний конденсатор C_6 подсоединяется переключателем $П$ к аноду левого триода лампы $Л_3$. Тогда два последовательных импульса, поступающих на конденсаторы C_5 и C_6 из одной точки схемы, будут соответствовать прохождению фазы исследуемого колебания через 0 и 360°. Количество импульсов с частотой 10 000 *гц* в счетчике за этот интервал определит длительность периода колебания.

Использование регистратора заданного числа позволяет добиться большой точности при измерении частот ниже 500 *гц*. Так, например, для точного измерения частоты 50 *гц* нужно настроить счетчик серий на 500 циклов, а исследуемое напряжение с частотой 50 *гц* подвести ко входу первого канала *Вход 1* и к зажиму $ИИ_1$, связанному через триод $Л_{12}$ с регистратором. Ко второму каналу *Вход 2* нужно подвести выходной импульс регистратора. После начала измерения в момент прихода первого импульса 50 *гц* счетчик начинает считать импульсы 10 *кгц*, подводимые к зажиму $ИИ_2$, а регистратор — импульсы исследуемой частоты.

После прохождения 500 импульсов в регистратор последний подает сигнал на вход второго канала управляющего устройства и прекращает счет. Длительность измерения составляет 10 *сек*, что позволяет повысить его точность до $1 \cdot 10^{-5}$.

Неточность частоты 50 *гц* определяется по числу импульсов, на которое отличается цифра в счетчике от 100 000. Так же просто определяется, например, погрешность частоты 48 *гц*. Для этого нужно установить регистратор на цифру 480. Тогда погрешность опять может измеряться по отклонению цифры счетчика от 100 000.

Возможны некоторые другие применения описанного прибора. Так, например, можно измерять интервал времени между двумя импульсами, подавая их на зажимы *Вход импульсов*.

Прибор с успехом может быть использован при счете импульсов ионизирующего излучения в ядерной технике, когда необходимо измерение числа импульсов за данный интервал времени или определение интервала времени, за который на вход счетчика поступает заданное число импульсов.

В первом случае импульсы, обнаруженные счетчиком Гейгера-Мюллера или сцинтилляционным счетчиком и сформированные последующей схемой, подаются через зажим $ИИ_2$ в счетчик прибора. Тогда регистратор заданного числа, считающий импульсы со ста-

бильной частотой (зажим $ИИ_1$), используется для задания времени отсчета.

Во втором случае сформированные импульсы ионизирующего излучения подводятся ко входу первого канала управляющего устройства и через триод $Л_{12}$ (зажим $ИИ_1$) — на вход регистратора, установленного на заданное число. Выход регистратора подсоединяется к зажиму *Вход 2*. К счетчику подводятся импульсы известной частоты. По количеству импульсов в счетчике можно определить интервал времени, за который прошла серия импульсов излучения с заданным числом.

ТАХОМЕТРЫ

Применение цифровой счетной техники позволяет получить любые, наперед заданные точности измерения и отсчета, которые недостижимы при использовании тахогенераторов и стробоскопических тахометров.

Ниже приведено описание одного из тахометров с использованием декатронов. С помощью такого тахометра можно измерить скорость вращения турбины до 20 000 *об/мин* при точности отсчета ±1 *об/мин*. Тахометр автоматически возобновляет замер скорости каждые 3 *сек*, причем результаты измерений могут считываться визуально и фотографироваться с помощью автоматических устройств. Измерение скорости турбины производится за интервал в 1 *сек* и сброс показаний счетчика за 0,2 *сек* до нового замера.

На рис. 32 представлена блок-схема тахометра. Питаемый от турбины трехфазный генератор приводит в движение синхронный электродвигатель, установленный в измерительном приборе. На оси электродвигателя закреплен диск с 60 щелями, который освещается лампой накаливания. Германиевый фотодиод, помещенный за диском, генерирует 60 электрических импульсов за каждый оборот диска. После усиления эти импульсы поступают на ключевую схему и через нее в счетчик. Ключевая схема пропускает или запирает поток импульсов, генерируемых фотодиодом, в зависимости от поданных на нее внешних управляющих сигналов. Последние создаются специальным блоком, к которому по двум шинам *А* и *Б* подводятся от источника импульсы с частотой 1 *гц*. Импульсы на шине *А* запаздывают на 0,2 *сек* по отношению к импульсам на шине *Б*.

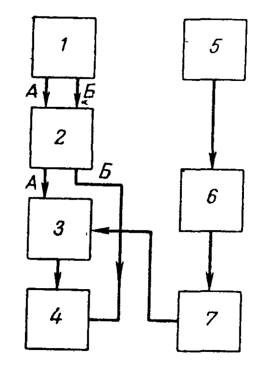


Рис. 32. Блок-схема цифрового тахометра.

1 — датчик секундных импульсов; *2* — управляющее устройство; *3* — ключевая схема (электронный клапан); *4* — счетчик импульсов на декатронах; *5* — турбина; *6* — трехфазный генератор; *7* — синхронный электродвигатель с диском и усилитель импульсов фотодиода.

Блок управления представляет собой схему с тремя устойчивыми положениями. В нем исключается каждый третий импульс из последовательности импульсов шины *А*, а частота повторения импульсов шины *Б* делится на три. Выходные импульсы блока управления, соответствующие по фазе входным импульсам шины *А*, управляют ключевой схемой, запирая ее на 2 *сек* после односекундного интервала измерений. Выходные импульсы, соответствующие по фазе входным импульсам шины *Б*, произво-

дят сброс декатронного счетчика перед каждым секундным интервалом измерения. Между окончанием секундного интервала измерения и импульсом сброса производится визуальное считывание результата.

Электрическая схема тахометра показана на рис. 33, а напряжения в различных ее точках — на рис. 34.

Как видно из схемы рис. 34 датчик секундных импульсов выполнен на кварцевом генераторе с частотой 1 *кгц* (на лампе $Л_1$)

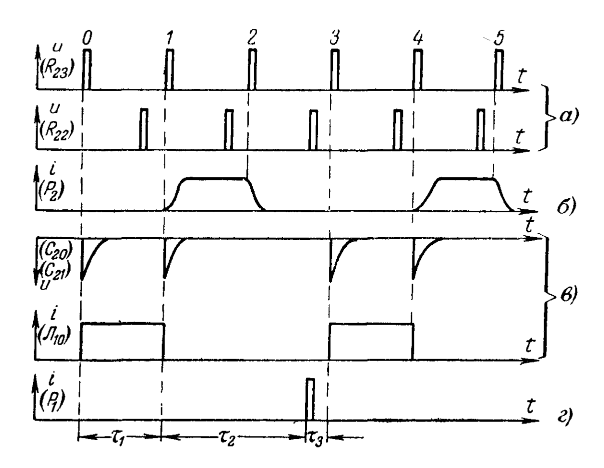


Рис. 33. Временные характеристики схемы тахометра.

а — импульсы в цепях нулевого и восьмого катодов декатрона $Л_5$ (рис. 33), подающиеся на шины *А* и *Б* соответственно; *б* — ток через обмотку реле P_2 (реле срабатывает и отпускается с задержкой по отношению к переднему и заднему фронтам импульсов тока); *в* — управляющие импульсы, подводимые к ключевой схеме, и ток через лампу $Л_{10}$; *г* — импульс тока через реле P_1, приводящий к сбросу счетчика; τ_1 — период измерения (1 *сек*); τ_2 — период считывания результата (1,8 *сек*); τ_3 — период, когда счетчик сброшен на нуль перед следующим измерением (0,2 *сек*).

с последующим делением частоты на трех декатронах (на рис. 34 показаны два декатрона $Л_3$ и $Л_5$). В качестве прибора $Л_5$ используется коммутаторный декатрон, что позволяет снимать с его восьмого и нулевого катодов сдвинутые во времени на 0,2 *сек* импульсы и подавать их на шины *Б* и *А* соответственно (рис. 33,*а*).

Двенадцатикатодный декатрон $Л_7$ используется в качестве делителя частоты на три. Для этого его катоды объединяются в три группы: 0, 3, 6, 9 — 1, 4, 7, 10 — 2, 5, 8, 11.

Когда разряд в декатроне $Л_7$ устанавливается на катодах, в цепи которых включен резистор R_{30}, потенциал сетки правого триода лампы $Л_8$ поднимается, и реле P_2 в ее анодной цепи срабатывает (рис. 33,*б*). Тем самым прекращается подача секундных импульсов с лампы $Л_6$ к ключевой схеме (лампы $Л_{10}$ и $Л_{11}$).

Так как реле срабатывает с некоторой задержкой, то к ключевой схеме проходят два из каждых трех импульсов, возникающих на аноде лампы $Л_6$ (рис. 33,*в*). Когда разряд в декатроне $Л_7$ пере-

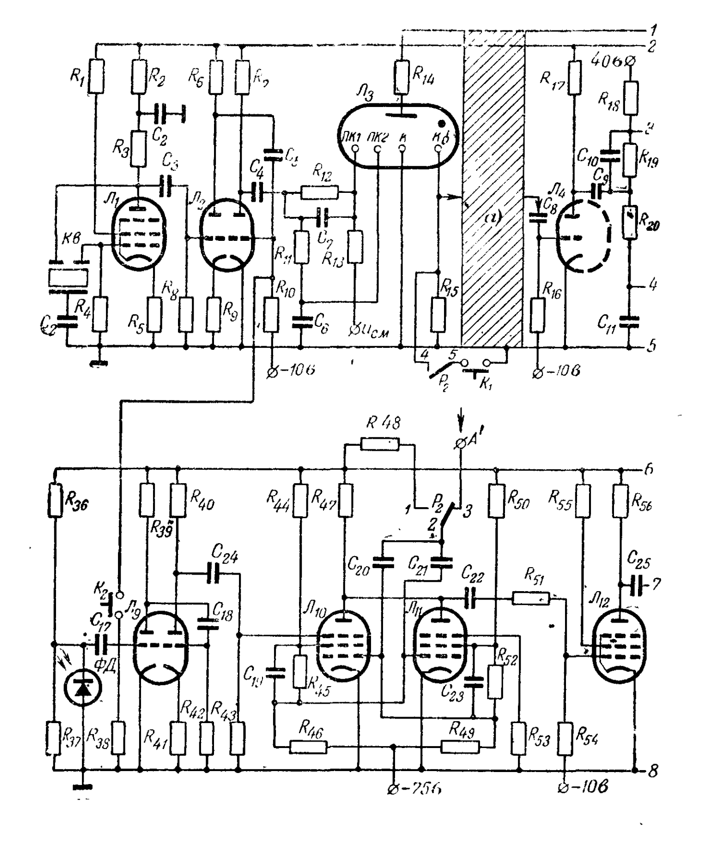
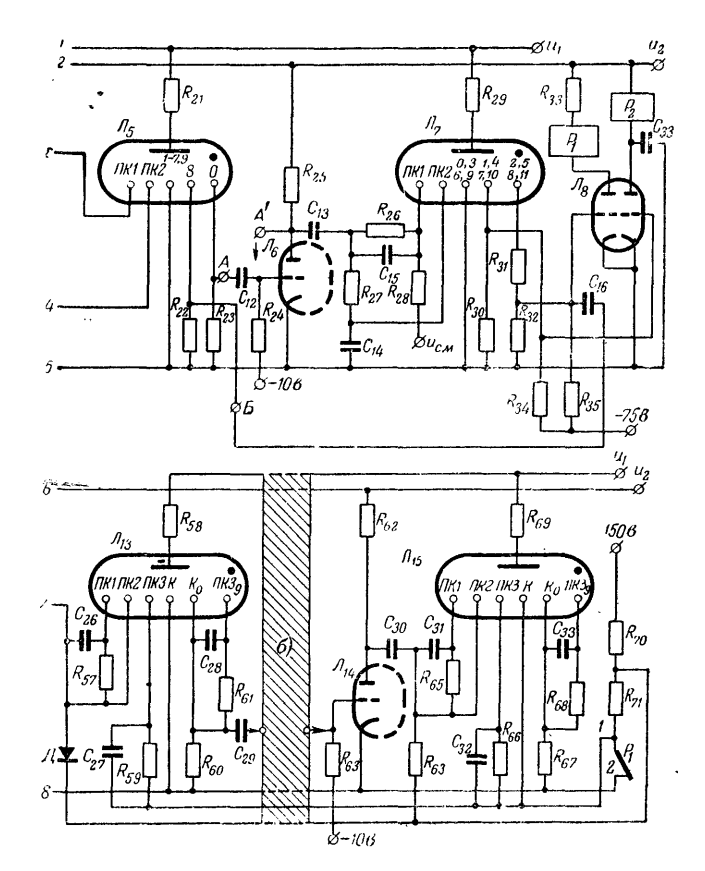


Рис. 34. Схема цифро

а — промежуточная декатронная декада, одинаковая с декадной
точные декады, одинаковые

ходит на катоды с резисторами R_{31} и R_{32}, потенциал сетки левого триода лампы $Л_8$ поднимается до точки отсечки анодного тока. В ждущем режиме лампа $Л_8$ откроется в момент прихода на ее сетку импульса с резистора R_{22}, установленного в цепи восьмого катода декатрона $Л_5$. Ток левого триода лампы $Л_8$ заставляет сработать реле P_1 в ее анодной цепи. Это реле срабатывает на короткое время и за 0,2 *сек* до начала счетного цикла производит сброс декатронов счетчика на нуль, подключая с помощью контакта индикаторные катоды (кроме нулевых) и подкатоды декатронов $Л_{13}$ и $Л_{15}$, а также три декатрона, не показанных на схеме, к источнику положительного напряжения. Это же реле может подавать сигнал на фотокамеру для съемки результата, зафиксированного в счетчике.

Счетные импульсы от фотодиода *ФД* усиливаются лампой $Л_9$ и поступают в счетчик через ключевую схему. Последняя представ-



вого тахометра.

на правом триоде лампы $Л_2$ и декатроне $Л_3$; *б* — три промежу-
с декадой на $Л_{14}Л_{15}$.

ляет собой триггер с двумя устойчивыми состояниями, собранный на лампах $Л_{10}$ и $Л_{11}$. Ключевая схема открыта в интервал времени, соответствующий открытому состоянию лампы $Л_{10}$ (рис. 33,*в*). В течение этого времени импульсы фотодиода, подводимые ко второй управляющей сетке лампы $Л_{10}$, усиливаются и передаются на вход счетчика (лампа $Л_{12}$). Таким образом, показания счетчика ($Л_{13}$ и $Л_{15}$) соответствуют скорости турбины.

С помощью ключа $К_2$ производится контроль работы счетчика. Включением ключа прерывается цепь импульсов от преобразователя, и вместо них подводятся импульсы от кварцевого генератора с частотой 1 000 *гц*. Ключом $К_1$ производится остановка тахометра с фиксацией последнего результата счетчика.

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ ТЕЛЕМЕТРИИ

В области телеметрии, телеуправления и связи находят все более широкое распространение электронные переключатели источников сигналов, которые позволяют упростить линии связи и уменьшить их число.

Как правило, электронный переключатель состоит из нескольких подключенных к общей линии передачи ключевых схем, через кото-

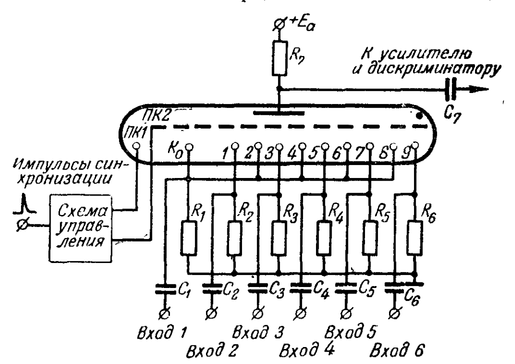


Рис. 35. Схема упрощенного электронного переключателя.

Вход 1 — вход телеметрической системы; *Вход 2, 3, 4, 5, 6* — входы калибрационных генераторов.

рые транслируются сигналы. Ключевые схемы последовательно открываются на определенные интервалы времени, которые задаются специальным генератором импульсов.

Использование коммутаторного декатрона в качестве генератора импульсов для переключения позволяет по сравнению со схемами на вакуумных лампах добиться существенной экономии в схеме генератора при одновременном увеличении числа переключаемых каналов до 10. В этом режиме выходная цепь каждого катода декатрона, используемого в качестве переключателя, соединяется со входом соответствующей ключевой схемы.

Имеются, однако, частные задачи в телеметрии, где применение декатронов может дать еще большую экономию. Одним из таких случаев может быть передача данных о сигнале с изменяющейся частотой совместно с отметками, представляющими собой заранее заданные высокостабильные частоты.

На рис. 35 представлена схема устройства для передачи сигналов от нескольких частотных входов на частотный дискриминатор, преобразующий их в сигналы постоянного тока, соответствующие по уровню частоте входных сигналов.

В цепь катодов декатрона подаются сигналы от различных источников частоты. В цепь объединенных катодов *0*, *2*, *4*, *6* и *8* поступает сигнал от телеметрической системы, а в цепь катодов *1*, *3*, *5*, *7* и *9* частоты от высокостабильных источников, служащих для калибровки выходного уровня дискриминатора. Все частоты имеют порядок сотен килогерц.

Амплитуда колебаний на катодной нагрузке декатрона для правильной работы переключателя не должна превышать 10 *в*. Эффект переключения состоит в том, что проводимость между анодом и штырем катода, на котором устанавливается разряд, оказывается значительно большей, чем между анодом и остальными катодами. За счет этого в анодной цепи декатрона наблюдаются колебания той же частоты, что и на нагрузке светящегося штыря катода. Сле-

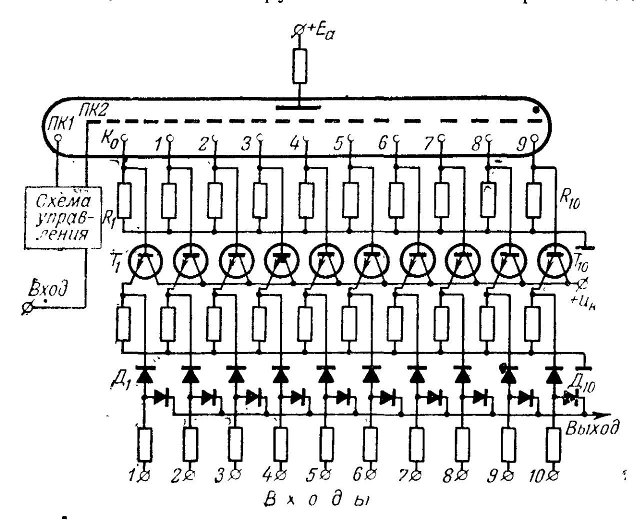


Рис. 36. Бесконтактный коммутатор с ключами на диодах.

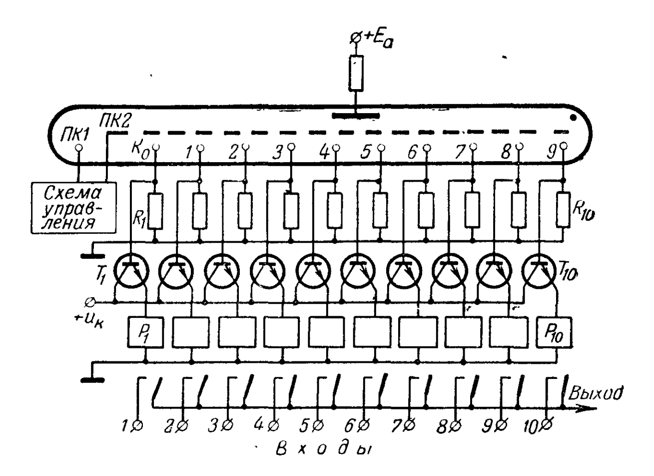


Рис. 37. Бесконтактный коммутатор с ключами на электромагнитных реле.

дует заметить, что электрическая связь между анодом и светящимся катодом оказывается большей у тех типов декатронов, разрядное свечение которых частично захватывает анод.

С анода декатрона коммутируемые колебания подаются на усилитель, с него — на чувствительный дискриминатор и с выхода дискриминатора — на усилитель для питания отклоняющих пластин электроннолучевой трубки.

Две другие схемы коммутаторов, показанные на рис. 36 и 37, обеспечивают малое переходное сопротивление вход—выход.

Схема рис. 36 представляет собой бесконтактный коммутатор на диодах с управлением от декатрона. В исходном состоянии напряжение имеется только на резисторе R_1. Это напряжение через усилитель (T_1) поступает на диод $Д_1$ и запирает его. В результате напряжение входа первого канала поступает на выход коммутатора. Остальные диоды $Д_2$—$Д_{10}$ через малое выходное сопротивление усилителей замыкают входы *2—10* на корпус. Поступление на вход декатрона импульса перемещает разряд с его первого катода на второй. При этом к выходу, по аналогии с предыдущим случаем, присоединяется второй вход.

Схема рис. 37 использует в качестве ключей электромагнитные реле. В остальном принцип работы коммутаторов совпадает.

ПРИБОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ СВАРКИ

Использование для управления временем сварки устройств с накопительной емкостью часто не позволяет получить необходимых точностей. Ввиду этого интересно применение декатронов в приборе для точного управления временем шовной и точечной сварки.

В описываемом приборе практически достаточная точность работы получается при использовании такого источника частоты как промышленная электросеть 50 *гц*. Большим эксплуатационным преимуществом прибора является то, что декатроны допускают визуальную индикацию правильности работы. Устройство построено на двух декатронах, один из которых управляет временем пропускания тока через место сварки, а второй — паузой между периодами пропускания тока.

На рис. 38 показана схема устройства для шовной сварки. С его помощью через место сварки периодически пропускают импульсы тока, разделенные определенными паузами. Схема построена таким образом, что пауза между периодами пропускания тока, определяемая декатроном $Л_2$, равна четырем циклам, а период сварки, определяемый декатроном $Л_4$, — пяти циклам колебаний частоты 50 *гц*.

На зажим *А* схемы поступают сформированные прямоугольные колебания 50 *гц*, которые ограничиваются диодами $Д_1$ и $Д_{12}$. Синусоида, из которой формируются прямоугольные колебания 50 *гц*, может быть сдвинута по фазе к опорной частоте с помощью фазовращающего моста, не показанного на схеме. В исходном состоянии разряды в декатронах устанавливаются на нулевых катодах.

После создания необходимого давления в точке сварки контакт $К_1$ замыкается, а контакт $К_2$ размыкается. Прямоугольные колебания с частотой 50 *гц* поступают на две схемы совпадений ($R_1R_3Д_2Д_3$ и $R_{12}R_{14}Д_6Д_7$), выходы которых (зажимы *Б* и *В* соответственно) связаны с сетками управляющих ламп $Л_1$ и $Л_3$. Колебания будут поступать из сетки ламп только в том случае, если на точке

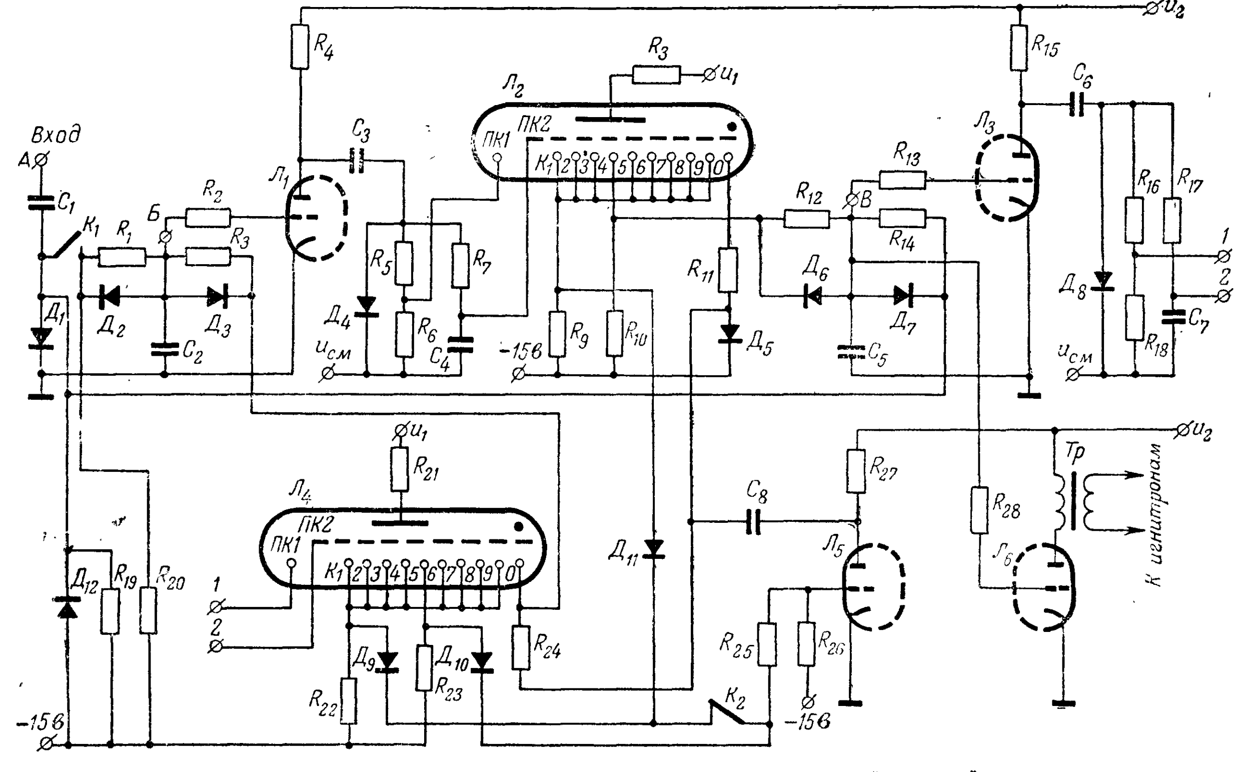


Рис. 38. Схема устройства для управления шовной сваркой.

схемы совпадений, связанной с катодом декатрона, имеется повышенное напряжение, соответствующее горению разряда на тот же катод.

Так как в исходном состоянии разряды в декатронах установлены на нулевых катодах, то вначале импульсы пропускаются только к лампе $Л_1$. Когда разряд в декатроне $Л_2$ продвинется до четвертого катода, схема совпадений $R_{12}R_{14}Д_6Д_7$ приобретет способность пропускать импульсы к лампе $Л_3$, и декатрон $Л_4$ начнет считать. При этом разряд в декатроне $Л_2$ будет оставаться на четвертом катоде, так как схема совпадений $R_1R_3Д_2Д_3$ не пропускает входные импульсы на лампу $Л_1$ из-за ухода разряда с нулевого катода декатрона $Л_4$ после прихода к зажиму *А* пятого импульса.

Разряд в декатроне $Л_4$ последовательно переносится с катода на катод, и в момент, когда он устанавливается на пятом катоде, на сетку лампы $Л_5$ поступает положительный импульс. На ее аноде возникает большой отрицательный импульс, который сбрасывает декатроны на нуль. После этого весь описанный цикл повторяется.

Как видно из схемы, во время работы декатрона $Л_4$ входные импульсы его управляющей схемы одновременно поступают на сетку лампы $Л_6$. С анода этой лампы импульсы поступают на схему поджига мощных игнитронов. Сдвиг фазы импульсов на зажиме *А* по отношению к опорной частоте 50 *гц* позволяет регулировать угол отсечки игнитронов. Число циклов работы игнитронов, устанавливаемое устройством, и отсечка тока в каждом цикле, устанавливаемая фазовращателем, определяют полную дозу тока через место сварки.

Для прекращения работы прибора необходимо разомкнуть контакт $К_1$ и замкнуть контакт $К_2$, что приводит к сбросу декатронов на нуль в случае, если работает декатрон $Л_2$, т. е. если коммутация приходится на паузу. Если же коммутация контактов приходится на период работы декатрона $Л_4$, то цикл сварки заканчивается нормально, и лишь после прихода разряда в декатроне $Л_4$ на пятый катод декатроны сбрасываются на нуль, и схема прекращает работу.

При точечной сварке рабочий цикл, который состоит из паузы и периода сварки, является единственным. Для повторения цикла требуется повторное включение. На рис. 39 приведена схема для точечной сварки, настроенная на паузу, равную трем циклам, и период сварки, равный четырем циклам частоты 50 *гц*.

Перед началом работы декатроны сброшены на нуль. После замыкания контакта $К_1$ и размыкания контактов $К_2$ и $К_3$ импульсы с частотой 50 *гц* поступают через схему совпадений $R_1R_2Д_2Д_3$ на сетку лампы $Л_1$. Разряд в декатроне $Л_2$ движется до тех пор, пока не устанавливается на третьем катоде, потенциал которого повышается и отпирает схему совпадений $R_{12}R_{13}Д_6Д_7$. Начиная с четвертого входного импульса, разряд в декатроне $Л_4$ последовательно переносится на последующие катоды, а декатрон $Л_2$ останавливается.

Возникновение разряда на четвертом катоде декатрона $Л_4$ приводит к появлению положительного импульса на сетке управляющей лампы $Л_1$ и тем самым к переходу разряда в декатроне $Л_2$ на четвертый катод. Так как обе схемы совпадений после этого теряют способность пропускать импульсы к управляющим схемам, рабочий цикл этим заканчивается.

Как и в схеме для шовной сварки, во время работы декатрона $Л_4$ входные импульсы, поступающие на лампу $Л_3$, одновременно

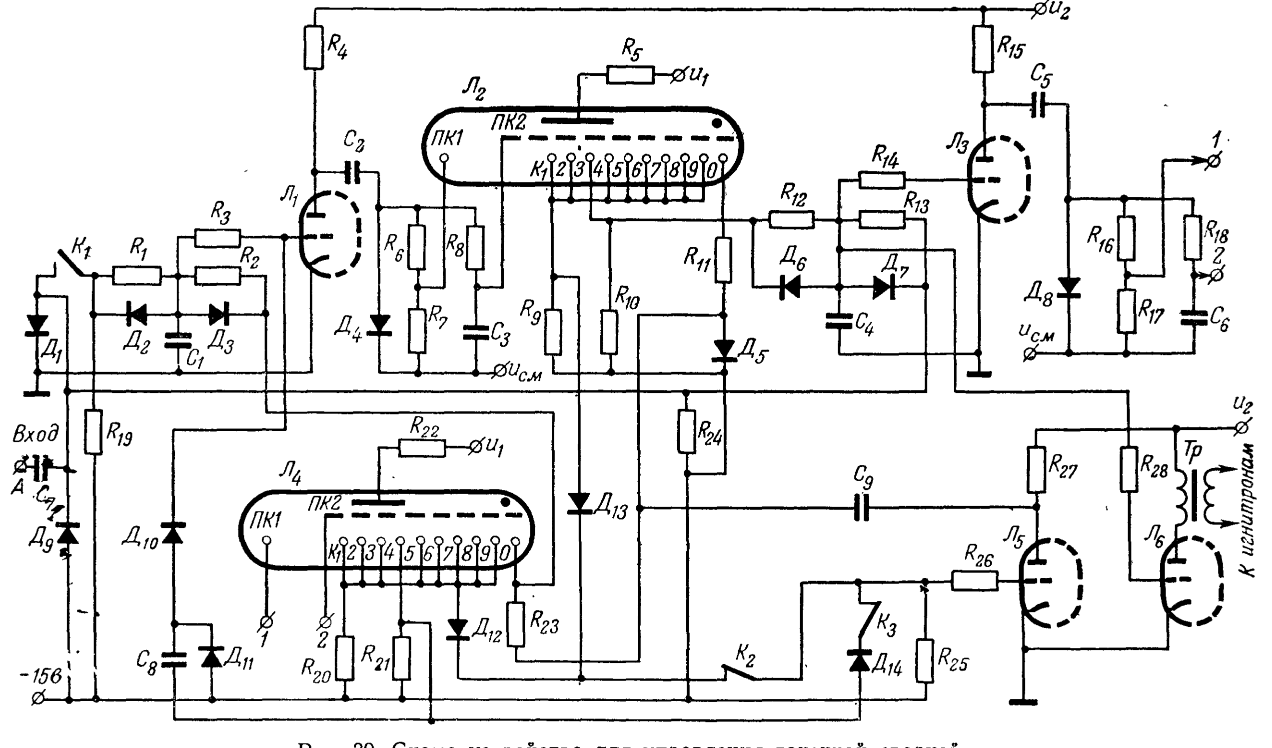


Рис. 39. Схема устройства для управления точечной сваркой.

подводятся к сетке лампы $Л_6$. С ее анода импульсы подаются на схему поджига игнитронов. Размыкание контакта K_1 и замыкание контактов K_2 и K_3 влечет за собой сброс декатронов на нуль независимо от состояния обоих декатронов. Тем самым схема приводится в исходное состояние.

В обоих схемах регулировки сварки фаза выходных импульсов для поджига игнитронов соответствует фазе прямоугольных колебаний, подводимых к зажиму *А*. Тем самым достигается необходимый режим поджига игнитронов.

Путем несложных коммутаций с помощью переключателей режим работы схем регулировки сварки может перестраиваться на другую длительность рабочих периодов. Превращение схемы шовной сварки в схему для точечной сварки также может быть произведено с помощью простых переключений. В приведенных на рис. 38 и 39 схемах, однако, рабочие периоды не могут быть больше 10 циклов 50 *гц*. Для увеличения длительности периодов необходимо использовать декатроны с бо́льшим коэффициентом пересчета или каскадное включение декатронов.

ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ТОЧНЫМ СООТНОШЕНИЕМ ПОЛУВОЛН

Ниже приводится описание устройства на декатронах, генерирующего прямоугольные колебания с точным соотношением длительностей положительной и отрицательной полуволн. Соотношение длительностей может устанавливаться в пределах от 1 : 99 до 99 : 1 с помощью щеточных переключателей. Такое устройство может быть использовано при некоторых измерениях, а также в специальных электронных переключателях.

Генератор работает следующим образом (рис. 40). Декатроны $Л_2$ и $Л_4$ управляются обычными схемами на лампах $Л_1$ и $Л_3$. Лампы $Л_6$ и $Л_7$ образуют триггер с двумя устойчивыми состояниями, управляемый лампой $Л_5$. Колебания с триггера поступают на усилитель мощности с лампой $Л_8$, представляющий собой катодный повторитель. В начальном состоянии разряд в декатроне $Л_2$ установлен на катоде *10*, а в декатроне $Л_4$ — на катоде *1*. Триггер находится в положении, когда лампа $Л_6$ открыта, а лампа $Л_7$ закрыта, что соответствует положительной полуволне на выходе.

Поступающие на вход первого декатрона импульсы заставляют разряд в нем продвигаться на следующие катоды. Когда разряд в декатроне $Л_2$ устанавливается на катоде, связанном с движком переключателя $П_1$, возникающий на нем импульс через конденсатор C_8 поступает на сетку левого триода лампы $Л_5$. Однако лампа отпирается только в том случае, если потенциал ее сетки дополнительно поднят. Повышение потенциала сетки имеет место в момент, когда на катоде декатрона $Л_4$, к которому подключается резистор R_{34}, устанавливается разряд. При совпадении импульсов на R_{34} и C_8 левый триод лампы $Л_5$ открывается и импульс с его анода опрокидывает триггер. С этого момента начинается отрицательная полуволна колебаний. Точно так же совпадение импульсов на десятых катодах декатронов $Л_2$ и $Л_4$ влечет за собой отпирание правого триода лампы $Л_5$. Триггер при этом перебрасывается в исходное положение, и цикл начинается сначала.

Для уменьшения времени перезаряда конденсатора C_8 после увеличения потенциала на катоде декатрона $Л_4$, связанном с движ-

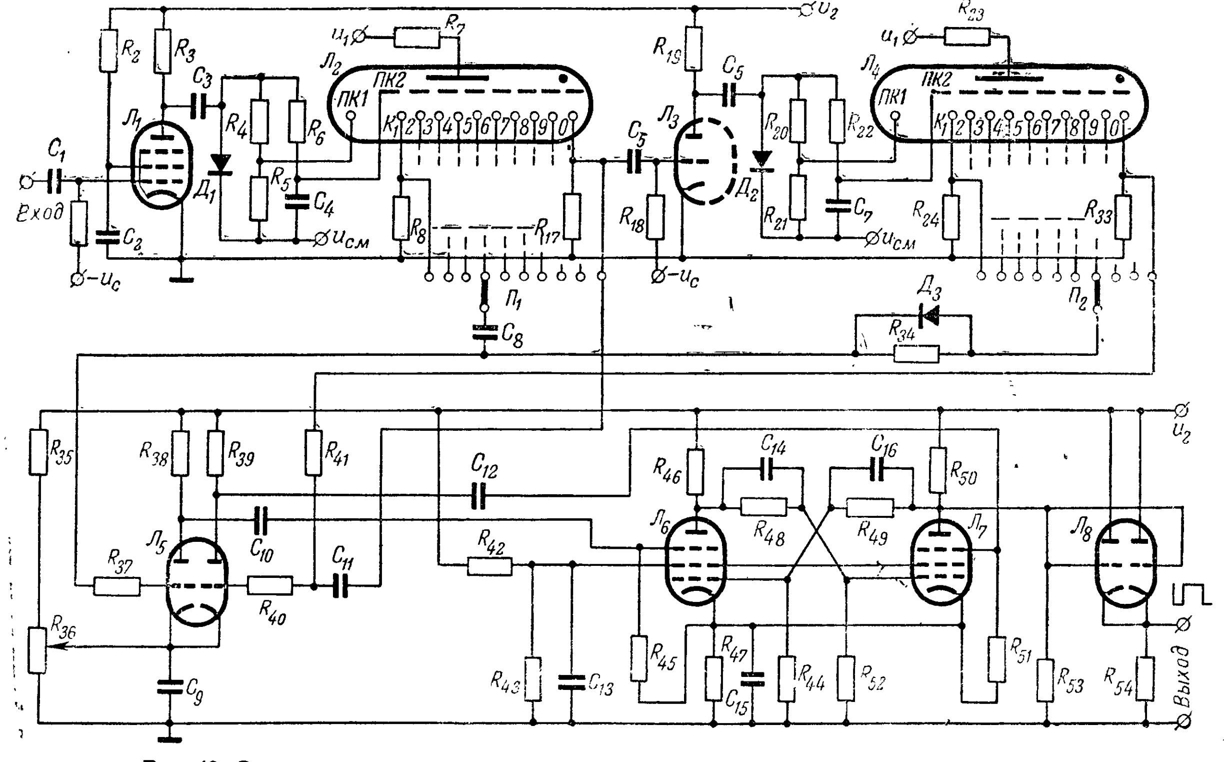


Рис. 40. Схема генератора прямоугольных колебаний с точным соотношением полуволн.

ком переключателя $П_2$, параллельно резистору R_{34} установлен диод $Д_3$. Это улучшает условия работы схемы при малой длительности положительных полуволн.

Недостатком данного устройства является то, что его максимальная выходная частота оказывается в 100 раз ниже рабочей частоты первого декатрона, т. е. получается не выше 100 *гц*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные выше случаи применения декатронов далеко не исчерпывают всех заложенных в них возможностей.

Известно, например, о применении декатронов в электронных арифмометрах и других счетно-аналитических машинах, где весьма удобны возможность реверсивного счета, десятичная система пересчета и визуальный отсчет результата, даваемые декатронами. Высокие скорости счета дают определенные преимущества декатронным счетно-аналитическим машинам по сравнению с электромеханическими. Декатроны резко увеличивают быстродействие и точность измерительных и управляющих приборов с цифровым отсчетом за счет большой скорости работы и простоты управления.

Интересным и важным применением декатронов является создание на их основе электронных АТС, что достигается заменой электромеханических шаговых искателей коммутаторными декатронами. Использование для управления декатронами полупроводников позволяет добиться высокой надежности электронных АТС.

Применение миниатюрных тиратронов с холодным катодом в схемах управления декатронами позволяет еще больше упростить декатронные счетчики, а главное, помогает им с успехом конкурировать с электромеханическими счетчиками как по надежности, так и по стоимости.

В целом, декатроны позволяют сильно расширить область проникновения электроники в различные отрасли народного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

Актон Д., Свифт Д., Газоразрядные лампы с холодным катодом, изд-во «Энергия», 1965.

Брейдо И. Я., Янкин Г. М., Газоразрядные счетные лампы, «Радиотехника», 1957, т. 12, № 2.

Гофман Б. А., Яблонский Ф. М., Применение тиратронов тлеющего разряда для управления газоразрядными счетными и коммутаторными лампами, «Радиотехника», 1961, № 7.

Генис А. А., Горнштейн И. Л., Пугач А. Б., Приборы тлеющего разряда, ГИТЛ УССР, 1963.

Янкин Г. М., Брейдо И. Я., Яблонский Ф. М., Новый быстродействующий декатрон, «Радиотехника», 1959, № 5.

СОДЕРЖАНИЕ